



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

“REINGENIERÍA DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO, UTILIZADO PARA LA FABRICACIÓN Y REPARACIÓN DE CARROCERÍAS EN LA EMPRESA MANSER”

BAYAS URQUIZO EMILIO ISRAEL

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

**RIOBAMBA – ECUADOR
2016**

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

2016-05-16

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

EMILIO ISRAEL BAYAS URQUIZO

Titulada:

**“REINGENIERÍA DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO, UTILIZADO
PARA LA FABRICACIÓN Y REPARACIÓN DE CARROCERÍAS EN LA
EMPRESA MANSER”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

Ing. Carlos Santillan
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Edwin Pozo
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Marco Ordoñez
ASESOR DE TESIS

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: Emilio Israel Bayas Urquizo
TÍTULO DE LA TESIS: “REINGENIERÍA DEL SISTEMA DE AIRE
COMPRIMIDO, UTILIZADO PARA LA FABRICACIÓN Y REPARACIÓN DE
CARROCERÍAS EN LA EMPRESA MANSER”
Fecha de Examinación: AAAA-MM-DD

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Celin Padilla PRESIDENTE TRIB. DEFENSA	X		
Ing. Edwin Pozo DIRECTOR(A) DE TESIS	X		
Ing. Marco Ordoñez ASESOR(A)	X		

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El (La) Presidente (a) del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han
cumplido.

Ing. Celin Padilla
PRESIDENTE (A) DEL TRIBUNAL

DERECHOS DE AUTORÍA

El trabajo de grado que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teórico-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Emilio Israel Bayas Urquizo

DEDICATORIA

Este trabajo de titulación está dedicado a Dios, a mi esposa Karina por toda su confianza, paciencia y comprensión que me dio durante la culminación de mi carrera, a mi hija Emilia, a mis padres Emilio y Lupe y a mis hermanos Andrés, Carla y Anita que siempre me brindaron su apoyo y confianza.

Emilio Israel Bayas Urquizo

AGRADECIMIENTO

El más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería Mecánica, por brindarnos la oportunidad de obtener una profesión y ser personas útiles a la sociedad.

Un agradecimiento especial al Ing. Edwin Pozo Director de Tesis e Ing. Marco Ordoñez Asesor de Tesis quienes con sus instrucciones y apoyo ayudaron a culminar con éxito el trabajo de titulación.

A mis padres Emilio y Lupe, a mi suegra Betty, a mis amigos y demás familiares que siempre estuvieron presentes durante mi vida estudiantil, apoyándome de una u otra manera.

Emilio Israel Bayas Urquizo

CONTENIDO

1. GENERALIDADES

1.1 Antecedentes.	1
1.2 Justificación.....	1
1.3 Objetivos.	2
1.3.1 Objetivo general.	2
1.3.2 Objetivos específicos.....	2

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Fabricante	3
2.2 Carrocería.....	3
2.3 Instalaciones Neumáticas	3
2.4 Neumática	3
2.5 Propiedades del aire comprimido.....	3
2.5.1 Disponibilidad.	3
2.5.2 Almacenamiento.....	4
2.5.3 Elección de movimiento.	4
2.5.4 Economía.	4
2.5.5 Fiabilidad.....	4
2.5.6 Resistencia al entorno.....	4
2.5.7 Seguridad.....	4
2.6 Definiciones básicas relacionadas con aire comprimido	4
2.6.1 Fluido.....	4
2.6.2 Aire.	5
2.6.3 Peso Específico.....	5
2.6.4 Volumen.	5
2.6.5 Volumen Específico.	5
2.6.6 Presión.	5
2.6.7 Presión Atmosférica.	6
2.6.8 Presión Manométrica.....	6
2.6.9 Temperatura.....	6
2.6.10 Caudal.....	6
2.6.11 Compresión.....	6
2.7 Obtención del Aire Comprimido.....	8
2.7.1 Compresor.	8

2.7.2 Sala de compresores.	12
2.7.3 Distribución del aire.	12
2.7.4 Tuberías.	13
2.7.5 Materiales de Tubería.	14
2.7.6 Accesorios de tubería.	16
2.7.7 Humedad del Aire.....	19
2.8 Requerimientos del sistema de aire comprimido.	19
2.8.1 Depósito de aire o Acumulador.....	20
2.8.2 Secado del aire comprimido.	20
2.8.3 Purgadores.	25
2.8.4 Filtros.....	25
2.8.5 Regulador de presión.	26
2.8.6 Lubricador.	26

3. ANÁLISIS DE INGENIERÍA

3.1 Situación actual de la empresa MANSER.	27
3.2 Área de la empresa	29
3.3 Número de tomas.	30
3.4 Presión requerida.....	33
3.5 Caudal Requerido.....	34
3.6 Selección del compresor.	37
3.7 Dimensionamiento de la red neumática	39
3.7.1 Configuración de la red.	40
3.7.2 Selección del diámetro de la tubería.....	41
3.7.3 Material de la tubería.....	45
3.8 Requerimientos de la red.....	46
3.8.1 Conexión eléctrica.	46
3.8.2 Calidad del aire.....	46
3.8.3 Manipulación de equipos.....	49
3.8.4 Seguridad.....	51
3.8.5 Color de las tuberías.	51
3.8.6 Ventilación en la sala de compresores.....	51
3.9 Caída de presión por pérdida de longitud y accesorios.....	52
3.9.1 Pérdida de la tubería principal.....	53
3.9.2 Pérdida de las tuberías secundarias.	60

3.10 Caída de presión por consumo	63
4. MANTENIMIENTO DEL SISTEMA	
4.1 Secciones del sistema para el mantenimiento.	66
4.1.1 Desconexión de Compresores.	66
4.1.2 Desconexión de Anillo de la Tubería principal:	68
4.1.3 Desconexión FR 1-10	69
4.2 Guías de mantenimiento.....	71
5. ANÁLISIS DE COSTOS	
5.1 Descripción del análisis de costos	74
5.2 Costos directos	74
5.2.1 Costos de compresores, tubería y equipos de purificación.....	74
5.2.2 Costos de herramientas utilizadas	75
5.2.3 Costos mano de obra	75
5.3 Costos indirectos	76
5.4 Costos totales	77
5.5 Análisis costo-beneficio	77
5.5.1 El valor presente neto (VPN)	77
5.5.2 Costo Actual.	77
5.5.3 Costo Proyectado.....	77
5.5.4 Tasa interna de retorno (TIR).	79
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
6.1 Conclusiones	80
6.2 Recomendaciones.....	80

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

PLANOS

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Composición del aire	5
Tabla 2. Clasificación y Dimensiones de la tubería.....	15
Tabla 3. Ubicación de las salidas de aire	31
Tabla 4. Presión de funcionamiento de herramientas neumáticas	33
Tabla 5. Consumo de aire y cantidad de herramientas	34
Tabla 6. Caudal necesario para el circuito neumático	35
Tabla 7. Características del compresor	38
Tabla 8. Reducción por aumento de 1000 metros de altitud.	39
Tabla 9. Longitud Equivalente por accesorios.....	44
Tabla 10. Uso de las herramientas neumáticas.	46
Tabla 11. Longitud equivalente por accesorios de la línea principal.....	55
Tabla 12. Índices de resistencia β para G Kg de peso del aire comprimido que circula por hora.....	56
Tabla 13. Longitud equivalente por accesorios del anillo principal.....	58
Tabla 14. Índices de resistencia β para G Kg de peso del aire comprimido que circula por hora.....	58
Tabla 15 Longitud equivalente por accesorios de líneas secundarias	61
Tabla 16. Índices de resistencia β para G Kg de peso del aire comprimido que circula por hora.....	62
Tabla 17. Caída de presión por longitudes y accesorios.....	63
Tabla 18. Mantenimiento recomendado del compresor.....	72
Tabla 19. Mantenimiento recomendado para la red de distribución.....	73
Tabla 20. Costos de los elementos necesarios para la red neumática.....	74
Tabla 21. Costo de equipos utilizados	75
Tabla 22. Costo de mano de obra	76
Tabla 23. Costos Directos	76
Tabla 24. Costos Indirectos	76
Tabla 25. Amortización del costo proyectado 1er. año	78
Tabla 26. Amortización del costo proyectado 2do. año	78
Tabla 27. Amortización del costo proyectado 3er. año	78
Tabla 28. Costo de inversión y TIR.....	79

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. El Sistema Neumático Básico	8
Figura 2. Esquema de Compresor de Simple efecto.	9
Figura 3. Compresor de Tornillo	10
Figura 4. Compresor de paletas simétrico: esquema	11
Figura 5. Compresor de Lóbulos	12
Figura 6. Típica configuración de línea principal con final en línea muerta.	13
Figura 7. Conducto principal en anillo	13
Figura 8. Instalación	14
Figura 9. Codo HG ½ pulgada.....	16
Figura 10. Tee HG ½ pulgada.....	16
Figura 11. Reductor HG.....	17
Figura 12. Universal HG.....	17
Figura 13. Válvula de bola.....	18
Figura 14. Válvula Check	18
Figura 15. Especificación de la pureza del aire según	20
Figura 16. Campos de aplicación de los diferentes tipos de secado.	22
Figura 17. Secado en frio	23
Figura 18. Secado por absorción.....	24
Figura 19. Secado por membrana	24
Figura 20. Filtro de aire Comprimido.....	25
Figura 21. Regulador de presión con y sin filtro	26
Figura 22. Vista panorámica del galpón de Carrocerías MANSER	27
Figura 23. Sala de Compresores	28
Figura 24. Situación Actual de la Tubería principal (vista superior).....	29
Figura 25. Esquema de la Empresa MANSER (vista superior).....	30
Figura 26. Área de Procesos	31
Figura 27. Factor de simultaneidad dependiente del número de herramientas.....	36
Figura 28. Altura de la tubería principal.....	41
Figura 29. Nomograma para el cálculo del diámetro de la tubería de los conductos principales.....	43
Figura 30. Nomograma para el cálculo del diámetro de la tubería de los conductos principales.....	45
Figura 31. Elección de tratamiento	48
Figura 32. Caída de presión según el tipo de manguera.	50

Figura 33. Ventilación artificial con ventilador externo.....	51
Figura 34. Isometría del conjunto neumático propuesto.....	53
Figura 35. Interpolación en Excel.....	59
Figura 36. Interpolación en Excel.....	62
Figura 37. Elementos de separación para mantenimiento del equipo compresor.....	67
Figura 38. Separación del anillo principal en tramos A-B-C-D	68
Figura 39. Aislamiento de flujo de la unidad FR.....	70
Figura 40. Secador principal del sistema neumático	71

LISTA DE ABREVIACIONES

INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
NTE	Norma Técnica Ecuatoriana
ISO	Organización Internacional para la Estandarización
PVC	Poli Cloruro de Vinilo
FR	Unidad Filtro Regulador
VPN	Valor Presente Neto
TIR	Tasa Interna de Retorno

SIMBOLOGÍA

Δp	Caída de presión	bar
P	Presión	bar
R	Constante del gas	
T	Temperatura Absoluta	°C
t	tiempo	s, min, h
D	Diámetro de la tubería	mm
L	Longitud de la tubería	m
V	Velocidad	$\frac{m}{s}$
v	Volumen	m^3
G	Cantidad de aire suministrada	$\frac{Kg}{h}$
B	Índice de resistencia.	Adimensional
Q	Caudal	SCFM, $\frac{l}{s}$, $\frac{m^3}{s}$

LISTA DE ANEXOS

Anexo A El Sistema Neumático Básico	¡Error! Marcador no definido.
Anexo B Clasificación y Dimensiones de la tubería	¡Error! Marcador no definido.
Anexo C Especificación de la pureza del aire según ISO8573-1:2010	¡Error! Marcador no definido.
Anexo D Reducción por aumento de 1000 metros de altitud.	¡Error! Marcador no definido.
Anexo E Nomograma para el cálculo del diámetro de la tubería de los conductos principales	¡Error! Marcador no definido.
Anexo F Elección de tratamiento.....	¡Error! Marcador no definido.
Anexo G Índices de resistencia β para G Kg de peso del aire comprimido que circula por hora	¡Error! Marcador no definido.
Anexo H Interpolación en Excel.....	¡Error! Marcador no definido.
Anexo I Tabla de Descripción de la Infraestructura	¡Error! Marcador no definido.
Anexo J Tabla de Clasificación de fluido	¡Error! Marcador no definido.

RESUMEN

En este trabajo de titulación, se ha rediseñado la red de aire comprimido para la empresa “MANSER”, esta reingeniería tiene como finalidad presentar una propuesta de un sistema mejorado, capaz de reemplazar y mejorar las falencias del sistema de aire comprimido con el que actualmente están laborando. El desarrollo de este trabajo comienza con un análisis de la situación actual del sistema de aire comprimido que existe en la empresa, a continuación se realiza un análisis de reingeniería tomando como punto de partida las demandas de consumo, el tamaño de infraestructura, el número de tomas de aire, la normativa actual vigente y la comodidad del operador para realizar sus labores de un día de trabajo. Se incluye la selección de equipos de compresión, equipos de purificación y equipos de distribución, una memoria de cálculo para la selección de tuberías, el cálculo respectivo para conocer las pérdidas ocasionadas por longitud y accesorios de la red, también encontrara los requerimientos para que este sistema pueda funcionar correctamente. Se logró reconocer que la empresa necesita de un nuevo sistema que conste de un equipo compresor una red de distribución y 10 tomas de aire; Adicional a esto se incluye sus respectivos planos para su construcción, un manual de y un esquema del costo que tendrá esta implementación. La propuesta tecnológica entregada en este trabajo de titulación lleva consigo acotaciones de seguridad, calidad de aire, ventilación del sistema, mantenimiento de la red, capacidad suficiente para una ampliación tanto en presión como en caudal y distribución adecuada del suministro. Cualidades que la hacen óptima para su implementación en esta empresa carrocera.

PALABRAS CLAVE: <SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO>, <HUACHI GRANDE (PARROQUIA) >, <AMBATO (CANTON) >, <TUNGURAHUA (PROVINCIA) >, <MANUAL DE MANTENIMIENTO >, <RED DE DISTRIBUCIÓN >, <CALIDAD DEL AIRE>, <CAÍDA DE PRESIÓN>

ABSTRACT

In this research work, the compressed air network for the Company “MANSER” has been redesigned, this reengineering aims to present a proposal of an improved system, capable of replacing and improving the shortcomings of the compressed air system with which currently they are working. The development of this work begins with an analysis of the current situation of the compressed air system that exists the company, then a reengineering analysis is made taking as a starting point the demands of consumption, the size of infrastructure, the number of air intakes, current regulations and the operator's comfort to carry out their daily work. It includes the selection of compression equipment, purification equipment and distribution equipment, a calculation memory for pipe selection, the respective calculation to know the losses caused by length and accessories of the network, also it will find the requirements for this functioning properly. It was recognized that the company needs a new system that consist of a compressor equipment a distribution network and 10 air intakes; In addition to this, they include their respective plans for their construction, a manual and a cost scheme that will have this implementation. The technological proposal delivered in this research work brings with dimensions of safety, air quality, system ventilation, maintenance of the network, sufficient capacity for an increase in both pressure, flow and adequate distribution of the supply. Qualities that make it optimal for its implementation in this bodywork company.

KEYWORDS: <COMPRESSED AIR SYSTEM>, <HUACHI GRANDE (TOWN)>, <AMBATO (CANTON)>, <TUNGURAHUA (PROVINCE) >, <MAINTENANCE MANUAL>, <NETWORK DISTRIBUTION>, <AIR QUALITY>, <PRESSURE LOSS>

CAPÍTULO I

1. GENERALIDADES.

1.1 Antecedentes.

Las Fabricas Carroceras del Ecuador, entre pequeñas, medianas y grandes trabajan en Guayas, Chimborazo, Azuay, Pichincha, Manabí, Santo Domingo de los Tsáchilas y Tungurahua. Ofertando oportunidades laborales a 5 000 personas de manera directa y más de 10 000 de manera indirecta; En la provincia de Tungurahua, se localizan 26 empresas fabricantes que generan más de 2 800 plazas de trabajo. En total esta provincia entrega el 65% de la producción anual del país.

Taller de Reparación de Carrocerías "MANSER" del cantón Ambato presta sus servicios desde Enero de 2000. Desde entonces ha mejorado la atención al cliente, en la actualidad incluye técnicos especializados, almacén de repuestos para carrocerías CEPEDA, PICOSA, JACOME, etc.; un taller equipado en herramientas especializadas para los distintos trabajos que se realizan en el mismo. Sus prestaciones de trabajo son muy amplias en conocimientos mecánicos, eléctricos e hidráulicos de todo tipo de carrocería de autobuses nacionales o importados por tal motivo este taller tiene una gran acogida en el centro del país.

1.2 Justificación.

El sistema de aire comprimido en la empresa "MANSER" requiere de un completo rediseño, con el fin de actualizar este sistema, debido a que este suministro es manipulado para instrumentación, pintura, corte de láminas metálicas y para otras actividades que la fábrica presta como servicios a sus clientes. El equipo compresor, la red de distribución y elementos de filtrado con los que actualmente trabajan ya han cumplido su vida útil, es por esta razón que el sistema de aire comprimido actual no permite mantener una presión constante y una calidad del aire aceptable; esto produce molestias hasta que se normalicen las condiciones adecuadas para continuar los trabajos.

Todos estos factores citados vinculan una pérdida de tiempo y dinero para la empresa y el personal colaborador. Situación por la cual es necesario rediseñar el sistema de aire comprimido conforme lo indica la normalización actual de fabricantes de carrocerías.

1.3 Objetivos.

1.3.1 Objetivo general.

Rediseñar del sistema de aire comprimido, utilizado para la fabricación y reparación de carrocerías en la empresa MANSER.

1.3.2 Objetivos específicos

Identificar los criterios para seleccionar un equipo de aire comprimido para empresas fabricantes de carrocerías de vehículos de pasajeros, conociendo las demandas de la empresa, para facilitar y agilizar el proceso de producción.

Plantear un esquema de un sistema de aire comprimido que cuente con los elementos necesarios y suficientes, brindando la agilidad y seguridad necesaria en los puestos de trabajo, para las tareas que se realizan en las empresas carroceras.

Definir los elementos mínimos que debe poseer un sistema de aire comprimido, según las estaciones de trabajo y sus demandas de suministro, para gestionar un mejor desempeño del lugar de labores.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Fabricante

Organización dedicada a actividades industriales, comerciales o de prestación de servicios con fines lucrativos. Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN (INEN 2664, 2013)

2.2 Carrocería

Conjunto de estructura, elementos de seguridad y confort que se adiciona al chasis de forma fija, para el transporte de personas. (INEN 1323, 2009)

2.3 Instalaciones Neumáticas

Las Tomas de Aire comprimido deben estar identificados en puntos estratégicos, sin fugas y sin presentar peligro ni obstáculo para la actividad productiva. (INEN 2664, 2013) Anexo I.

2.4 Neumática

Los sistemas de aire comprimido suministran un movimiento controlado con el uso de motores neumáticos y cilindros y se aplican en diferentes consumidores, actuadores, sistemas de empaquetado, herramientas de impacto, prensas, robots industriales, vibradores, frenos neumáticos, etc. (Solé, 2007)

2.5 Propiedades del aire comprimido.

Razones importantes para la utilización de un sistema de aire comprimido en una empresa carrocera:

2.5.1 Disponibilidad. Fabricas e industrias tienen un sistema de aire comprimido en las zonas de trabajo.

2.5.2 Almacenamiento. De ser necesario, se consigue almacenar aire comprimido en grandes cantidades, en el interior de tanques especialmente creados para ello.

2.5.3 Elección de movimiento. Se puede seleccionar entre un movimiento de rotación o uno lineal con velocidades fijas o variables.

2.5.4 Economía. El coste de instalación es relativamente bajo. También el mantenimiento es poco costoso debido a su larga duración de componentes sin apenas averías.

2.5.5 Fiabilidad. Los dispositivos neumáticos tienen una prolongada duración lo que eleva la confianza en el uso de estos sistemas.

2.5.6 Resistencia al entorno. A este conjunto no le afectan ambientes nocivos, con temperaturas elevadas o atmósferas corrosivas en los que otros sistemas fallan.

2.5.7 Seguridad. El sistema no está afectado por la sobrecarga, puesto que los dispositivos se detienen o se sueltan simplemente. Los actuadores neumáticos no producen calor.

2.6 Definiciones básicas relacionadas con aire comprimido

2.6.1 Fluido. Una sustancia ya sea en la fase gaseosa o líquida se conoce como fluido. La diferencia entre un fluido y un sólido está en la capacidad de la sustancia de generar resistencia a un esfuerzo cortante o tangencial, aplicado que tiende a cambiar su forma. Un sólido logra oponer resistencia a un esfuerzo cortante aplicado por medio de la deformación, en tanto que un fluido se deforma de manera continua bajo la influencia del esfuerzo cortante, sin importar lo pequeño que sea. (*Yunus, y otros, 2006*)

2.6.1.1 Clasificación de flujo. Un flujo puede ser compresible o incompresible, dependiendo de la variación de la densidad del fluido durante un flujo. Por lo tanto, si el volumen de todas las porciones del fluido permanece inalterado en el curso de su movimiento, se lo define como flujo (o fluido) incompresible. De acuerdo con eso; los líquidos tienen una densidad constante, así, el flujo de ellos es normalmente incompresible, por otra parte, los gases son intensamente compresibles. (*Yunus, y otros, 2006*)

2.6.2 *Aire*. Es una mezcla de elementos gaseosos que rodean el globo terrestre formando la atmósfera y está compuesto como lo muestra la tabla 1

Tabla 1. Composición del aire

Composición del aire	
Componente	Concentración aproximada
Nitrógeno	78 %
Oxígeno	21 %
Otros	1 %

Fuente: (Atlas Copco, 2011)

2.6.3 *Peso Específico*. Se denomina peso específico a la relación entre peso por unidad de volumen. Para el aire es $1.293 \frac{kg}{m^3}$ a 0 °C y 1 atm

2.6.4 *Volumen*. Es una magnitud de tipo escalar definida como la amplificación de tres dimensiones de una región en el espacio, sus unidades pueden ser litro, metro cubico, pie cubico, etc.

2.6.5 *Volumen Específico*. Es el volumen ocupado por unidad de masa de un material. Para el aire es $773 \frac{m^3}{kg}$ a 0 °C y 1 atm

2.6.6 *Presión*. La presión se define como una fuerza normal ejercida por un fluido por unidad de área. Se habla de presión sólo cuando se trata de un gas o un líquido. La contraparte de la presión en los sólidos es el esfuerzo normal. (Yunus, y otros, 2006) Su expresión matemática se define como:

$$Presión = \frac{Fuerza}{Area}$$

Las unidades utilizadas para medir la presión varían según el sistema de unidades utilizado estas pueden ser: el bar, el Pa, etc.

2.6.7 Presión Atmosférica. La presión atmosférica viene dada por el peso del aire que se encuentra en la atmosfera terrestre. A nivel del mar una atmósfera de presión es equivalente a 14.69 psi.

2.6.8 Presión Manométrica. En la práctica la presión manométrica se mide con un instrumento denominado manómetro el cual mide la presión relativa, esta presión relativa indica la diferencia entre la presión absoluta y la presión atmosférica.

2.6.9 Temperatura. La temperatura es una magnitud que refleja la cantidad de calor, de un cuerpo, un objeto o del ambiente. Esta magnitud está relacionada a la noción de frío (menor temperatura) y caliente (mayor temperatura).

Esta magnitud generalmente se la puede medir en grados, Celsius°C, Fahrenheit°F, etc. de acuerdo al sistema de unidades empleado.

2.6.10 Caudal. El caudal es una magnitud que resulta de la relación matemática entre unidades de volumen y el tiempo.

$$Caudal = \frac{Volumen}{Tiempo}$$

Las unidades utilizadas para medir la presión también varían según el sistema de unidades utilizado estas pueden ser en litros por segundo o metros cúbicos por hora.

2.6.11 Compresión. La compresión es un proceso mediante el cual se aumenta la presión de un fluido gaseoso disminuyendo su volumen específico.

2.6.11.1 Leyes de la Compresión. El aire si lo precisáramos severamente, no es un gas ideal, pero dadas las pequeñas variaciones que en el ocurren, y para un estudio de los principios de funcionamiento de un sistema de aire comprimido, podemos considerarlo como un gas que satisface las condiciones de un gas idea. (Royo, 1994)

Las leyes de los gases ideales vinculan profundamente las tres magnitudes: presión (P), volumen (V) y temperatura (T), que son participantes en la compresión y expansión del aire, debiendo percibir las propiedades del estado gaseoso para poder interpretar los

fenómenos que se originan cuando se alteran algunos de los parámetros que se toman parte activa en el desarrollo de sus propiedades, pudiendo decir que en los gases el volumen (V) es función de la presión (P) y de la temperatura (T) lo cual nos lleva a escribir implícitamente $f(P;V;T) = 0$. (Royo, 1994)

Estas tres magnitudes pueden cambiar, habiendo estudiado los físicos la evolución de dos de ellas cuando la otra se mantiene en un valor constante. Así se lograron determinar los siguientes principios.

- El principio a temperatura constante; ley de Boyle-Mariotte. Es el estudio de la compresibilidad a temperatura constante:

$$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2$$

- El principio a presión constante; ley de Gay-Lussac. Es el estudio de la dilatación a presión constante:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

- El principio a volumen constante; ley de Charles. Es el estudio de la variación de presión a volumen constante:

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

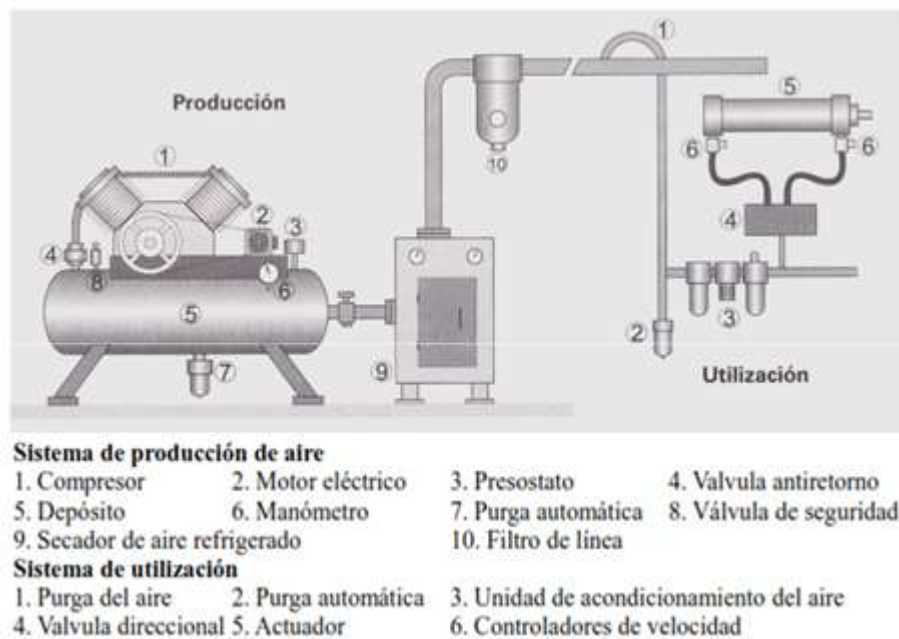
Para la misma masa gaseosa, existe una constante directamente proporcional a la presión y volumen del gas, e inversamente proporcional a su temperatura. Así establecemos la ley de los gases ideales:

$$\frac{P_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{P_2 \cdot V_2}{T_2}$$

2.7 Obtención del Aire Comprimido.

La neumática depende de una estación de generación y preparación del aire comprimido compuesta por un equipo compresor de aire, un almacenador, elementos de preparación del aire (regulador de presión, filtro y lubricador), una red de distribución para llegar a la herramienta de consumo. (Figura 1).

Figura 1. El Sistema Neumático Básico



Fuente: (SMC, 2003)

2.7.1 Compresor. Los compresores son los elementos primordiales en la obtención del aire comprimido, se instalan en un lugar especialmente preparado, aunque en la actualidad se usan compresores más sofisticados y silenciosos que otorgan una gran mejora en su instalación. De esta manera las emisiones sonoras ya no presentan un problema, y dependiendo del tipo de compresor integra varios elementos de acondicionamiento del aire.

El compresor es una maquina destinada a incrementar la presión de un fluido gaseoso, el elemento que tolera la compresión puede ser asimilado a un gas ideal.

Clasificación.

Los compresores se clasifican de acuerdo a la forma que evoluciona de energía mecánica en energía de presión de gas.

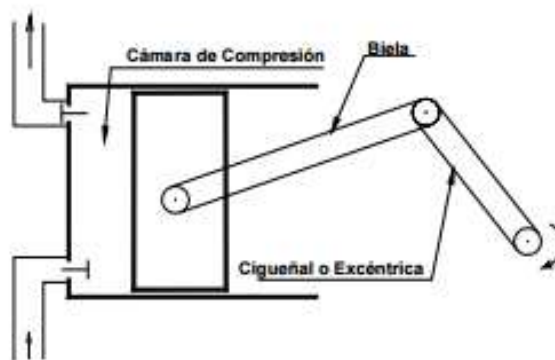
2.7.1.1 Compresores Alternativos

- Compresor de Pistón.

Es un compresor de Embolo oscilante. Este tipo de compresor actualmente es el más utilizado. Es apropiado para comprimir un fluido gaseoso a media o alta presión.

Un compresor de pistón marcha en base a un conjunto de excéntrica que controla el movimiento alternativo de los pistones en el cilindro. Cuando el émbolo hace la carrera de regresión aumenta el espacio de la cámara, por lo que disminuye la presión interna del cilindro, esto a su vez induce la apertura de la válvula de admisión concediendo la entrada de aire al cilindro, una vez que el embolo llega al punto muerto inferior empieza su carrera ascendente, cerrando la válvula de aspiración y reduciendo el volumen utilizable para el aire, esta entono origina un incremento de presión; y finalmente libera la válvula de descarga concediendo la salida de aire comprimido, este a su vez puede salir a la segunda etapa o bien al depósito.

Figura 2. Esquema de Compresor de Simple efecto.



Fuente: (Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental, 2010)

Para obtener presiones a una escala superior, son necesarias varias etapas de compresión. El aire aspirado se expone a una compresión inicial por el primer embolo en ocasiones dependiendo del uso se refrigera, para luego pasar a otro proceso de compresión por el siguiente embolo. El volumen en esta segunda etapa con su respectivo segundo cilindro es en relación, más pequeño. Como bien se conoce al reducir volumen aumentamos temperatura, la misma que debe ser disipar después de todas sus etapas.

- Compresor membrana o diafragma

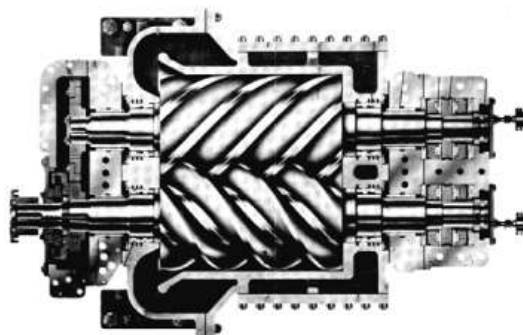
Un diafragma separa el pistón del cilindro de trabajo; el aire no hará en contacto directo con piezas móviles del compresor. Por lo tanto el aire comprimido estará libre de aceite.

2.7.1.2 Compresores Rotativos.

- Compresor de Tornillo.

Un compresor de tornillo lleva consigo dos mecanismos helicoidales de ejes paralelos, engranados entre sí rodando en el interior de una carcasa. El gas ingresa por uno de los extremos de los tornillos; este es atrapado entre dos filetes consecutivos, y comprimido hasta la boca de salida.

Figura 3. Compresor de Tornillo



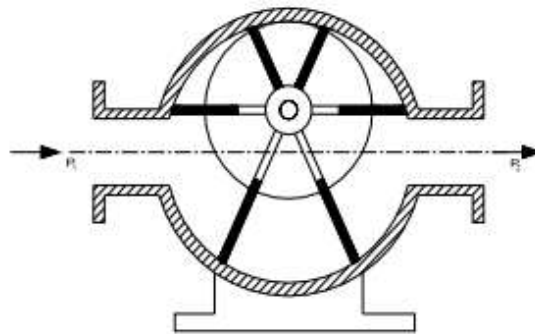
Fuente: (Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental, 2010)

- Compresor de Paletas.

En el diseño del compresor de paletas encontramos un rotor con paletas deslizables, estas giran excéntricamente en el interior de una carcasa.

La fuerza centrífuga hace que las paletas apoyen contra la carcasa, delimitando cámaras entre cada dos consecutivas. Dichas cámaras toman el gas de la admisión, a presión de entrada o atmosférica y lo conducen hasta la descarga donde toma contacto con el gas a presión de salida. Debido a la excentricidad del rotor, sólo eventualmente una pequeña cantidad atrapada vuelve a la admisión. (Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental, 2010)

Figura 4. Compresor de paletas simétrico: esquema

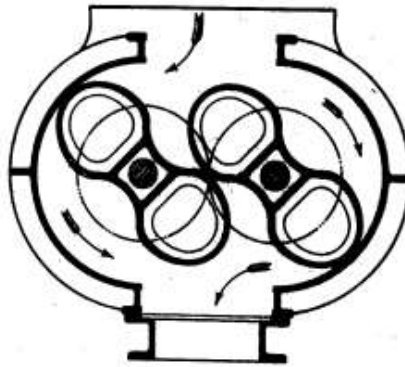


Fuente: (Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental, 2010)

- Compresor de Lóbulos.

Los compresores de lóbulos, también llamados "compresores Roots", constan de dos rotores en forma de ocho que giran, sincronizados externamente mediante engranajes, dentro de una envolvente o carcasa, dejando holguras muy estrechas contra las paredes de ésta. El gas que ingresa es atrapado entre un lóbulo y la envolvente; al girar el lóbulo es transportado a presión constante hasta la boca de descarga, donde pasa a tener la presión elevada del depósito. (Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental, 2010)

Figura 5. Compresor de Lóbulos



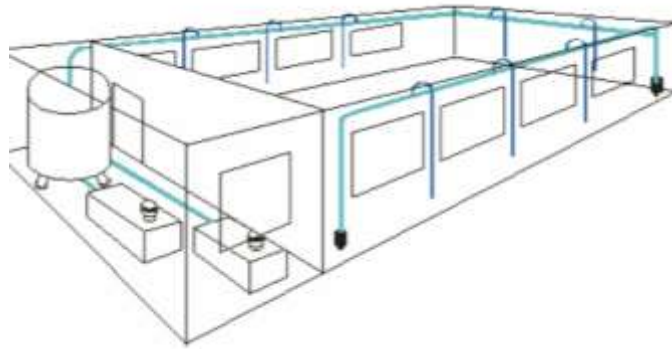
Fuente: (Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental, 2010)

2.7.2 Sala de compresores. La sala de compresores es el centro fundamental de producción del aire comprimido desde el cual se envía por toda la fábrica la energía neumática en un proceso de expansión dando potencia a los equipos y elementos accionados por aire comprimido. (Royo, 1994)

2.7.3 Distribución del aire. Para que el aire comprimido llegue a los puntos de consumo, se colocan surtidores de aire de distribución, de manera permanente. Existen dos configuraciones de distribución básicas: Final en línea muerta y Conducto principal en anillo.

2.7.3.1 Final en línea muerta. Para facilitar el drenaje, las tuberías de distribución tienen una pendiente del 1% en la dirección del flujo y deberán ser debidamente purgadas. A intervalos graduables, la tubería principal puede ser restablecida a su altura original.

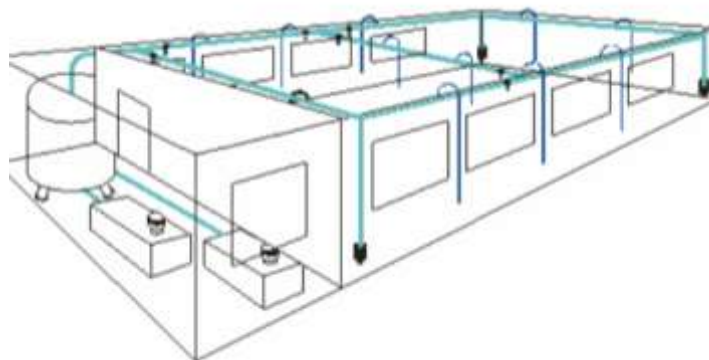
Figura 6. Típica configuración de línea principal con final en línea muerta.



Fuente: (SMC, 2003)

2.7.3.2 *Conducto principal en anillo.* En un conjunto de tubería principal en anillo, es posible entregar el aire por dos lados a un punto de consumo lo que permite minimizar la caída de presión. De cualquier manera, el agua se transporta en cualquier dirección según en sentido de flujo de aire y se deben adicionar al diseño, salidas para el agua con purgas automáticas.

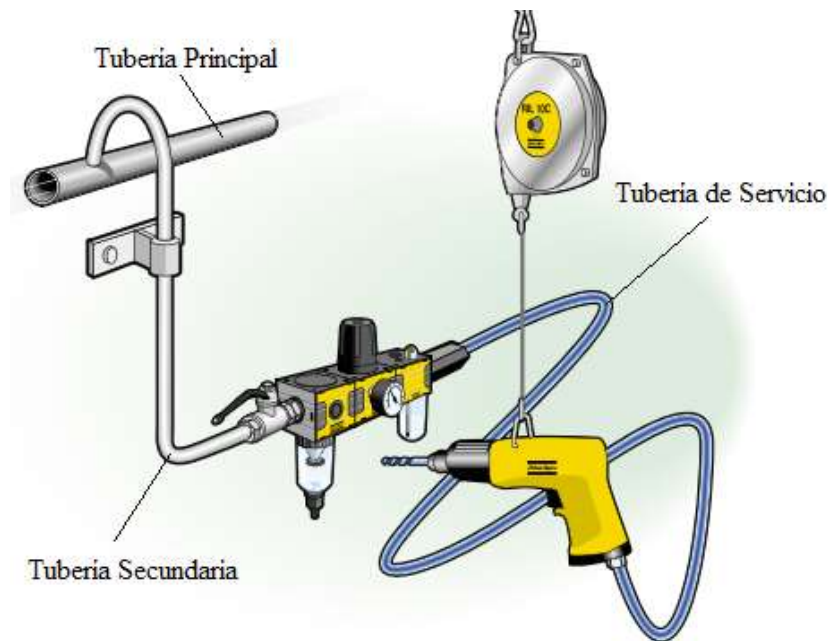
Figura 7. Conducto principal en anillo



Fuente: (SMC, 2003)

2.7.4 *Tuberías.* Para el transporte del aire comprimido desde la central de compresores hasta los lugares de utilización se emplea una red de conducciones conocidas bajo el nombre genérico de tuberías (figura 8). Se pueden considerar tres tipos de tuberías.

Figura 8. Instalación



Fuente: (Atlas Copco, 2007)

2.7.4.1 Tubería Principal. Se designa tubería principal al conducto de aire que sale del depósito del sistema y lleva en su interior el mayor caudal de aire. Debe poseer la mayor sección posible y prever una posible ampliación de la fábrica.

2.7.4.2 Tuberías secundarias. Se derivan de la tubería principal, distribuyéndose por las zonas de trabajo y de las cuales después saldrán tuberías de servicio. El volumen de aire que transporta será de acuerdo a la suma de las derivaciones de salen de esta tubería a los puestos de trabajo.

2.7.4.3 Tuberías de servicio. Son las que alimentan a los equipos o herramientas neumáticas en el punto de manipulación o lugares de trabajo. Llevan conexiones de cierre e incluyen las mangueras para la manipulación del aire, así como los grupos filtro-regulador-lubricador. (Royo, 1994)

2.7.5 Materiales de Tubería.

2.7.5.1 Tubería de estándar (SGP). Los conductos de aire son normalmente tubos de

acero o hierro manejable. Se los puede encontrar en galvanizado o negro, de esa manera están sujetos a un proceso anticorrosivo. Comercialmente este tipo de tubería viene roscada, así acepta su ajuste con accesorios normalizados.

Tabla 2. Clasificación y Dimensiones de la tubería

Designacion comercial		Diametro exterior nominal (mm)	Serie liviana II			
DN	NPS		Espesor nominal (mm)	Diametro exterior Max. (mm)	Diametro exterior Min. (mm)	Prueba de presion (Kpa)
6	1/8	10,2	1,8	10,1	9,7	5000
8	1/4	13,5	1,8	13,6	13,2	5000
10	3/8	17,2	1,8	17,1	16,7	5000
15	1/2	21,3	2,0	21,4	21,0	5000
20	3/4	26,9	2,3	26,9	26,4	5000
25	1	33,7	2,6	33,8	33,2	5000
32	1 1/4	42,4	2,6	42,5	41,9	5000
40	1 1/2	48,3	2,9	48,4	47,8	5000

Fuente: (INEN 2470, 2008)

2.7.5.2 Tubería de acero inoxidable. Este material se lo utiliza sobre todo, cuando se ocupan grandes diámetros en líneas de tuberías largas y rectas.

2.7.5.3 Tubería de cobre. Cuando se necesita una alta resistencia a la oxidación, calor y rigidez, se puede usar tubería de cobre con diámetros nominales hasta 40mm, sin embargo en un producto costoso con diámetros mayores a 28mm.

2.7.5.4 Tubería de PVC. Se emplean para conexiones de accesorios neumáticos. Una gran desventaja de trabajar con este material es su limitación a altas temperaturas. Si se pretende emplearlos para una mayor flexibilidad están disponibles en nylon o poliuretano,

que normalmente presentan mejor resistencia a grandes presiones.

2.7.5.5 Tubos de goma. La tubería de goma o manguera de aire es la elección más adecuada para llevar el suministro hacia herramientas manuales, puesto que otorga flexibilidad para la libertad de movimiento al operador.

2.7.6 Accesorios de tubería.

2.7.6.1 Codo. Es un accesorio en forma de curva se lo emplea para cambiar la dirección de la tubería tantos grados como lo defina la guía de ensamble.

Figura 9. Codo HG ½ pulgada



Fuente: (CEFESA)

2.7.6.2 Tee. Son accesorios que se elaboran de diferentes tipos de materiales, diámetros y se manejan para efectuar distribución de un fluido en líneas de tubería.

Figura 10. Tee HG ½ pulgada



Fuente: (Megakons)

2.7.6.3 *Reducciones*. Tienen forma cónica de diversos materiales, se emplean para disminuir diámetros a través de líneas de tuberías.

Figura 11. Reductor HG



Fuente: (CEFESA)

2.7.6.4 *Unión universal*. Está destinada para la instalación y mantenimiento de redes de tubería, su geometría permite unir tramos en que se hayan practicado cortes de tubos.

Figura 12. Universal HG



Fuente: (CEFESA)

2.7.6.5 *Válvula esférica o de bola*. Las válvulas esféricas son de 1/4 de vuelta, pues la bola agujereada gira entre asientos elásticos, lo cual permite el paso directo en la posición abierta y corta el paso cuando se gira la bola 90° y cierra el conducto.

Figura 13. Válvula de bola



Fuente: (CEFESA)

2.7.6.6 *Válvulas antiretorno (Check)*. La válvula de retención o antiretorno se emplea para evitar el retorno del fluido por una tubería, es decir, el flujo es en un solo sentido. Existen varios tipos de válvulas de retención a continuación se exponen los de tipo giratorio. Estas válvulas son ampliamente empleadas en tuberías conectadas a una red de bombeo para amortiguar el efecto del golpe de ariete, principalmente en la línea de descarga de la bomba.

Figura 14. Válvula Check



Fuente: (CEFESA)

2.7.7 Humedad del Aire. El aire atmosférico en su composición contendrá siempre un porcentaje variable de agua. Parte de este vapor de agua se condensa a medida que se va enfriándose el aire por las tuberías, ocasionando daños en los elementos neumáticos, como desgaste y oxidación.

2.7.7.1 Humedad Absoluta. Hace referencia a la cantidad de vapor de agua contenida en un metro cubico.

2.7.7.2 Humedad de saturación. Se expresa como la máxima cantidad de vapor de agua que puede caber en un determinado volumen de aire.

2.7.7.3 Humedad Relativa. Para tener una visión inmediata del estado de humedad del aire se recurre a establecer una relación entre la humedad absoluta existente, y el máximo valor de la humedad que el aire puede contener a la misma temperatura, cuando dicho aire está saturado. (Royo, 1994)

2.7.7.4 Punto de Rocío. El punto de rocío o, también, punto de condensación, es la temperatura en la que el aire está saturado de vapor de agua. Esta saturación completa corresponde a una humedad de 100 por ciento. En el momento en que la temperatura del aire es inferior a ese punto, empieza la condensación del aire húmedo. Si las temperaturas son inferiores a cero grados centígrados, se forma hielo. Este fenómeno puede limitar considerablemente el caudal y el funcionamiento de los componentes incluidos en una red neumática. Cuanto menor es el punto de rocío, tanto menores la cantidad de agua que puede retener el aire. El punto de rocío depende de la humedad relativa del aire, de la temperatura y de la presión, aplicándose lo siguiente: (Festo , 2002)

- Cuanta más alta es la temperatura, mayor vapor de agua es capaz de retener el aire
- Cuanto más alta es la presión, menor humedad contiene el aire

2.8 Requerimientos del sistema de aire comprimido.

La calidad del aire comprimido puede hacer determinante en el correcto funcionamiento de los dispositivos neumáticos. Los mecanismos que se utilizan, ya sean válvulas cilindros, reguladores, etc., hacen que su rendimiento y buen funcionamiento cotidiano,

obedezcan a la calidad de dicho fluido, es preciso dotar al compresor de una serie de elementos que filtren, acondicionen y liberen el aire procesado por el compresor.

Figura 15. Especificación de la pureza del aire según ISO8573-1:2010

ISO8573-1:2010 CLASE	Partículas sólidas				Agua		Aceite
	Número máximo de partículas por m³			Concentración máxima mg/m³	Punto de rota a presión de vapor	Líquido g/m³	Concentración total de aceite (líquido, aerosol y vapor)
	0,1 - 0,5 micras	0,5 - 1 micras	1 - 5 micras				mg/m³
0	Tal como especifique el usuario o el proveedor del equipo y más estrictos que los de la Clase 1.						
1	≤ 20 000	≤ 400	≤ 10	-	≤ -70 °C	-	0,01
2	≤ 400 000	≤ 6000	≤ 100	-	≤ -40 °C	-	0,1
3	-	≤ 90 000	≤ 1000	-	≤ -20 °C	-	1
4	-	-	≤ 10 000	-	≤ +3 °C	-	5
5	-	-	≤ 100 000	-	≤ +7 °C	-	-
6	-	-	-	≤ 5	≤ +10 °C	-	-
7	-	-	-	5 - 10	-	≤ 0,5	-
8	-	-	-	-	-	0,5 - 5	-
9	-	-	-	-	-	5 - 10	-
X	-	-	-	> 10	-	> 10	> 10

Fuente: (Parker Dominic Hunter, 2011)

2.8.1 *Depósito de aire o Acumulador*. Toda red de aire comprimido necesita de un acumulador de aire a presión entre el compresor y la red de distribución, evitando las distancias largas entre compresor y depósito.

La función del acumulador de aire a presión es:

- Amortiguar las pulsaciones del caudal de aire salido de los compresores alternativos.
- Actuar de distanciador de los periodos de regulación.
- Hacer frente a las demandas puntas de caudal sin que se provoque caídas excesivas de presión.
- Regular el caudal de salida del compresor al consumo de aire de la red.

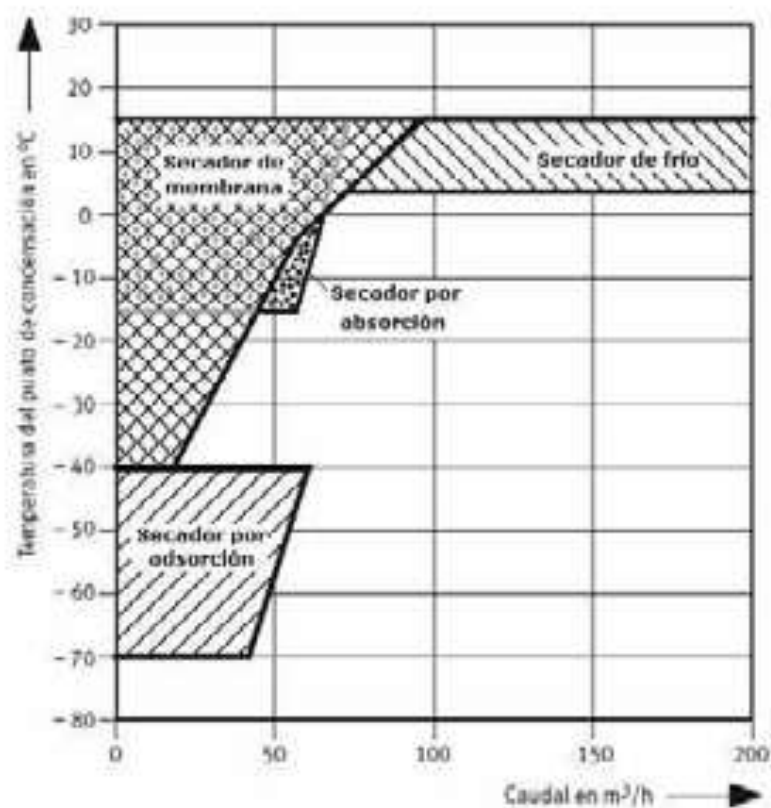
2.8.2 *Secado del aire comprimido*. En los métodos de compresión, el aire atmosférico aspirado por el compresor, con su humedad correspondiente, será procesado a través de

los ciclos de compresión, esta humedad dependiendo del tipo de compresor las condensaciones pueden llevar agua y aceite ocasionando los siguientes inconvenientes:

- Corrosión de las tuberías de acero.
- Inmovilización en los accionamientos neumáticos.
- Errores de medición en elementos de control.
- Obstrucción de boquillas en chorros de arena.
- Pintados defectuosos de superficies.
- Corrosión de los órganos internos de equipos receptores.
- Y generalmente bajo desempeño de toda la instalación.

Para el secado del aire a presión, se dispone de varios métodos, dependiendo de la calidad que deseamos lograr en el aire a presión. El secado del aire comprimido tiene lugar a la salida del compresor, en las redes de distribución y en los puntos de utilización. Teniendo para todos estos puntos las opciones de secado que se observan en la figura 16.

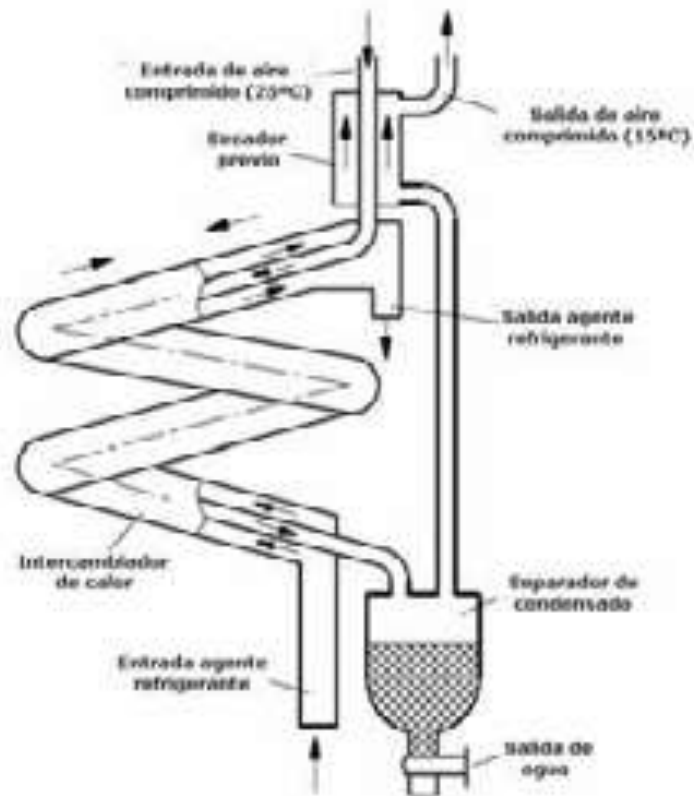
Figura 16. Campos de aplicación de los diferentes tipos de secado.



Fuente: (Solé, 2007)

2.8.2.1 *Secado en frío.* En el proceso de secado por frío o de refrigeración, la temperatura del aire a presión se reduce por efecto de un fluido refrigerante, formándose condensado y reduciendo así el contenido de vapor agua del aire. En la figura 17 se aprecia que este proceso se lleva a cabo por el cambio de fases de la sustancia (aire-aire y aire-agente refrigerante). Se logra un punto de condensación de aproximadamente de +1,5 °C.

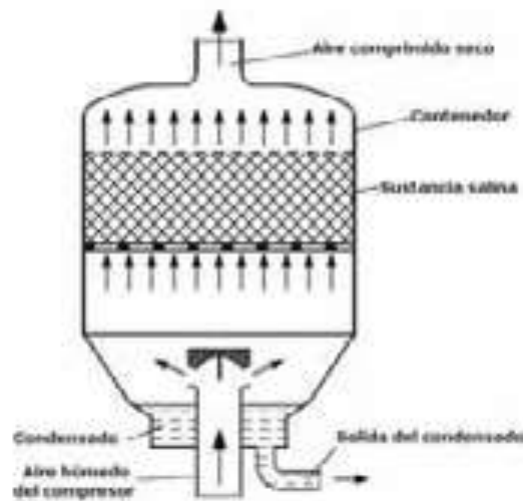
Figura 17. Secado en frío



Fuente: (Solé, 2007)

2.8.2.2 *Secado por absorción.* En el secado por absorción, la humedad es atraída por una sustancia química. El elemento químico es a base de NaCl, el mismo se consumirá en porción de 1 kg de sal por cada 13 kg de vapor condensado, por lo que debe renovarse frecuentemente. Con este método, se puede llegar a obtener condensaciones en puntos de rocío de -15°C .

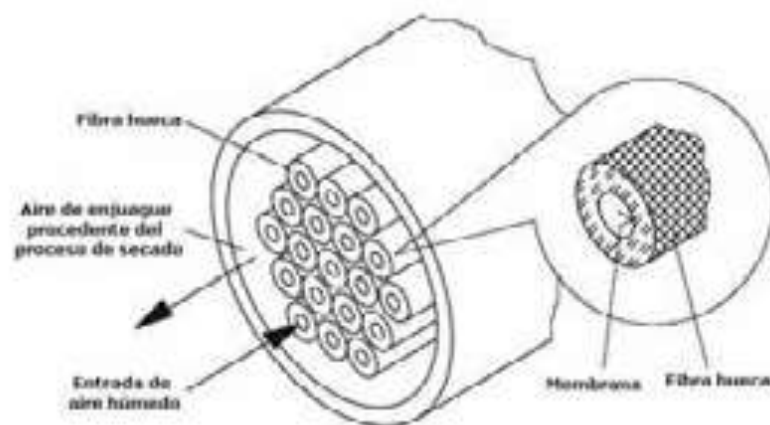
Figura 18. Secado por absorción



Fuente: (Solé, 2007)

2.8.2.3 *Secado por Membrana*. Están constituidos por un elemento de fibras huecas permeables al vapor, están rodeadas por aire seco el mismo que procede de aire que ya fue tratado. El secado se logra por la diferencia de presión entre el aire húmedo y el flujo de aire seco en el interior de las fibras permeables. Con este tipo de secado se alcanza puntos de rocío a partir de -40°C .

Figura 19. Secado por membrana



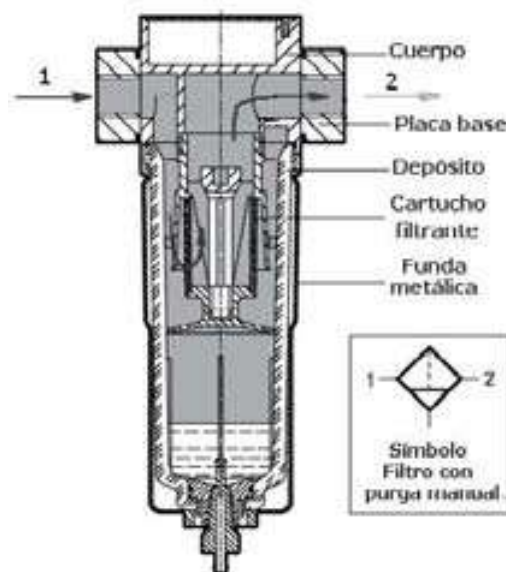
Fuente: (Solé, 2007)

2.8.3 *Purgadores*. Para la evacuar el agua y los condensados, que se producen en un sistema de aire comprimido, es necesario incorporar al sistema de purgadores. Existen diversos modelos y para su elección tendremos en cuenta el tipo de trabajo que van a desempeñar.

- Purgadores que evacuan agua-aceite y suciedad sea muy pastosa.
- Purgadores que evacuan una mezcla de agua aceite.

2.8.4 *Filtros*. El filtro (figura 20) libera las impurezas (aceite, contaminantes) y la humedad contenida en las tuberías de aire comprimido impartiendo un movimiento en ciclón al aire con lo que las impurezas se separan por la fuerza centrífuga. Dispone de cartuchos filtrantes porosos de 5 a 100 micras que deben limpiarse y cambiarse periódicamente. El condensado de los contaminantes se purga de forma manual o automática por medio de un tornillo de purga situado en la parte inferior del filtro. (Solé, 2007)

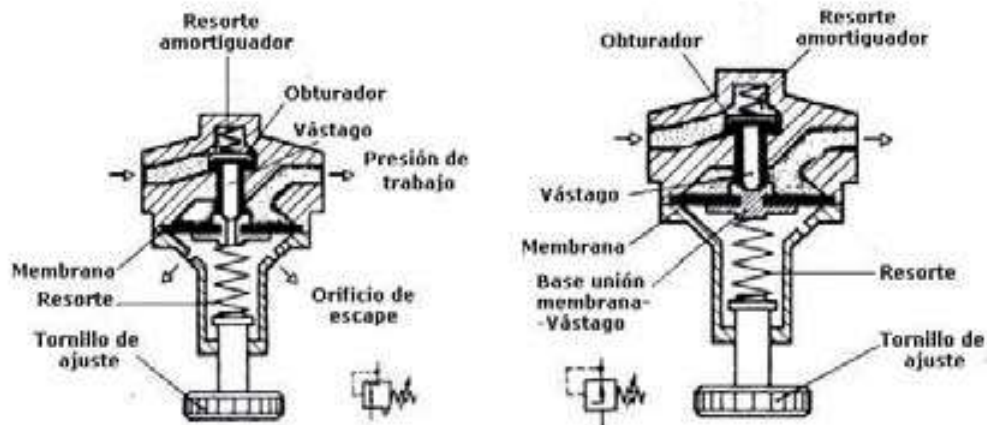
Figura 20. Filtro de aire Comprimido



Fuente: (Solé, 2007)

2.8.5 *Regulador de presión.* El regulador mantiene constante el empleo de aire y la presión de trabajo con libertad de la presión variable de la red. La presión de salida viene indicada por un manómetro. (Solé, 2007)

Figura 21. Regulador de presión con y sin filtro



Fuente: (Solé, 2007)

2.8.6 *Lubricador.* El lubricador aporta a los dispositivos neumáticos (cilindros, motores, válvulas, etc.) el lubricante necesario para su funcionamiento correcto. Funciona de acuerdo con el principio de Venturi, aspirando una fina cantidad de aceite contenido en el depósito de alimentación, que va a la cámara de goteo, mediante la caída de presión (depresión) que se produce al pasar el aire comprimido de alimentación por una tobera Venturi, y pulverizándolo en forma de aerosol al entrar en contacto con la corriente de aire a presión. La Cantidad de aceite nebulizado es proporcional al caudal de aire a presión. (Solé, 2007)

CAPÍTULO III

3. ANÁLISIS DE INGENIERÍA

3.1 Situación actual de la empresa MANSER.

Es necesario conocer los componentes del sistema de aire comprimido con los que actualmente trabaja la empresa, conocer sus condiciones de funcionamiento y determinar si aún se los puede utilizar en su futura restauración integral mediante el desarrollo de este trabajo. Para analizar los elementos y estado en el cual se hallaban previamente al trabajo realizado se desarrolló una inspección visual de todo el sistema en el cual se notaron algunos inconvenientes.

Figura 22. Vista panorámica del galpón de Carrocerías MANSER



Fuente: Autor

Para encabezar es preciso mencionar que el taller ya contaba con dos compresores, los cuales serán el primer ítem a analizar. Estos compresores ya se encuentran ubicados en su sitio de trabajo es decir la sala de compresores (figura 23) la cual está delimitada perfectamente para no intervenir con las actividades dentro del taller y alojando en su interior parte del ruido generado por el conjunto compresor pues dicha sala no cuenta con una puerta por lo que las emisiones sonoras provocadas salen libremente al resto del taller. Cuenta con un equipo de tratamiento del condensado por gravedad de 3 etapas en perfectas condiciones suficiente para tratar los residuos de un compresor de 80 CFM.

Figura 23. Sala de Compresores

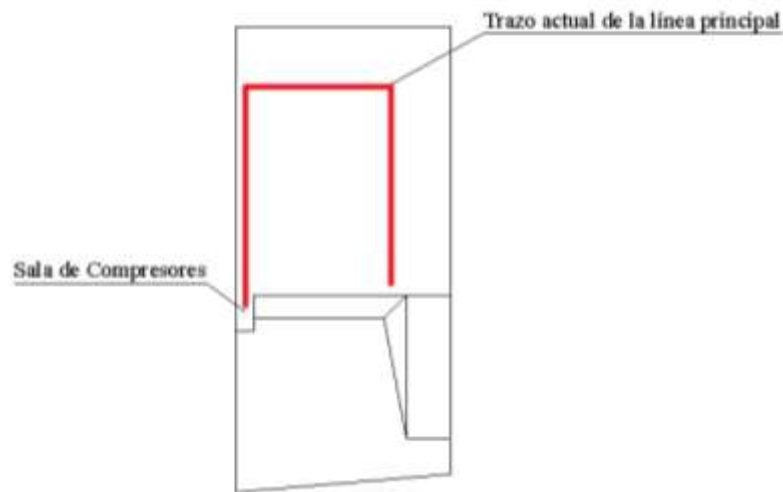


Fuente: Autor

Se visualizó que su instalación de accionamiento eléctrico es comandada por cajas de fusibles que se encuentran en muy buenas condiciones, brindando una seguridad adecuada al compresor en caso de variaciones de corriente eléctrica.

A continuación las tuberías por las que fluye el aire comprimido están en buenas condiciones presentan una disposición final de línea muerta en su línea principal representada por la línea roja de la figura 24; En la salida de los compresores existen un elementos anti retorno ya defectuosos lo que presenta un mal funcionamiento del sistema, siguiendo con sus ramificaciones de tuberías secundarias dos válvulas esféricas no funcionan y solo se cuenta con cuatro unidades de mantenimiento en buen estado, todas estas líneas principales y secundarias de aire se apoyan y extienden por la estructura metálica de la empresa con apoyos en tramos muy largos de la tubería.

Figura 24. Situación Actual de la Tubería principal (vista superior).



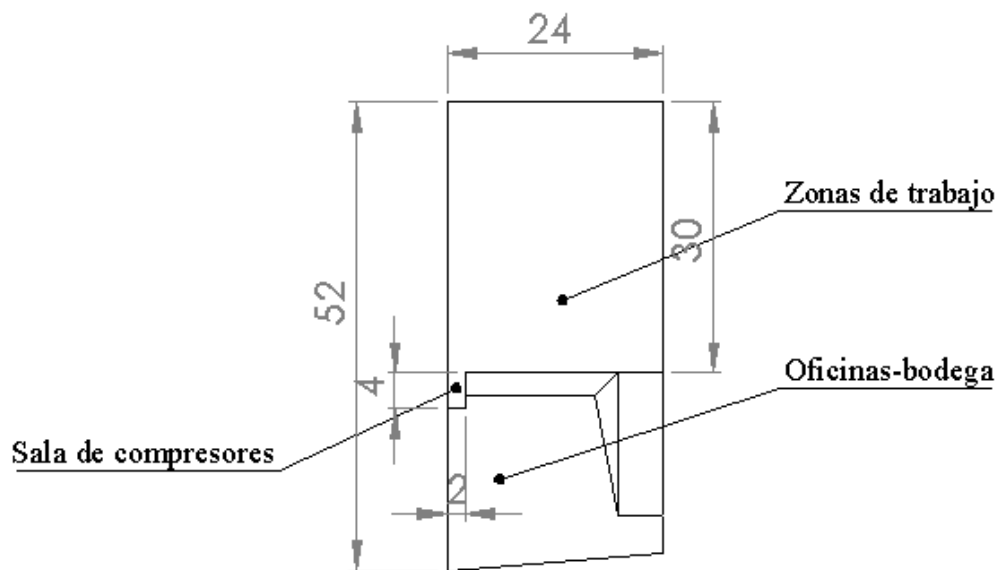
Fuente: Autor

El fabricante no cuenta con documentación alguna donde consten planos o diseños que faciliten identificar la red de aire, adicional a esto se pudo observar que las tuberías están despintadas y cuentan con una buena señalización para la utilización de equipos de protección personal en cada puesto de trabajo y para ingresar a la sala de compresores, no obstante no tiene una leyenda de la presión de aire en el interior de la tubería como lo manda la normalización nacional.

3.2 Área de la empresa

MANSER cuenta con un área total de 700 metros cuadrados provistos de energía eléctrica, agua potable y obra civil perfectamente identificados y delineados según la norma INEN 2664, dedicados única y exclusivamente a los servicios de construcción y reparación de carrocerías que ofrece esta empresa, independientes de oficina y bodega.

Figura 25. Esquema de la Empresa MANSER (vista superior)



Fuente: Autor

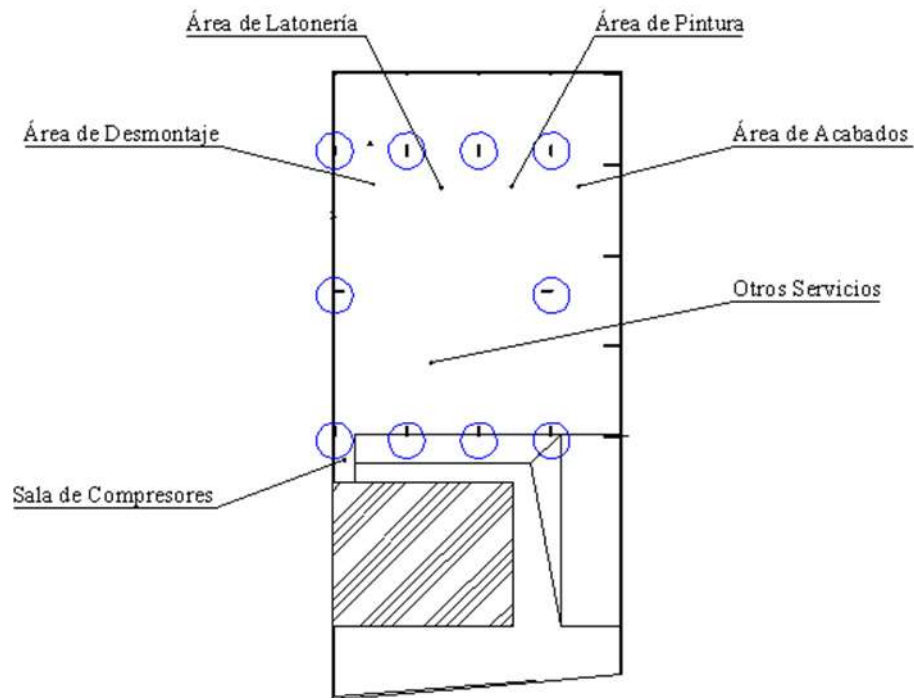
Dentro de esta infraestructura se tiene diferentes zonas de trabajo tales como desarmado de carrocería, armado-forrado, pintura, terminados, entre otros. Todas estas zonas cumplen con ocupaciones diferentes y se realizan diversos trabajos dentro de cada una de ellas.

Nuestro sistema de aire comprimido se encuentra en la sala de compresores y a la zona de trabajos, se omitió áreas como los baños, oficina y bodega ya que estos no requieren el suministro de aire comprimido lógicamente por sus tipos de actividades que se realizan en estas áreas de la empresa.

3.3 Número de tomas.

Se ubicó cada toma de aire comprimido pensando en las actividades que se desarrollan en las distintas áreas de trabajo del taller de carrocerías, facilitando el uso de este sistema sin que presente un obstáculo o peligro para los técnicos de la empresa.

Figura 26. Área de Procesos



Fuente: Autor

En la figura se aprecia que la zona de trabajos se divide en área de desmontaje, área de latonería, área de pintura, área de acabados y otros servicios. En cada una de estas áreas se utilizan equipos que dependen de aire comprimido, teniendo en cuenta que las columnas que soportan el techo están cerca de las áreas de trabajo y que no presentan un obstáculo para la movilización de los buses, equipos de trabajo y operarios, las tomas de aire comprimido se las coloco según las columnas que soportan el techo de la zona de trabajo teniendo un total de 10 fuentes.

Tabla 3. Ubicación de las salidas de aire

Ubicación	Número de Salidas de aire	Aplicación
Área de Desmontaje	2	Uso múltiple
Área de Latonería	2	Suelda y uso múltiple
Área de Pintura	2	Pistolas de pintura

Área de Acabados	1	Aplicación de Polímero y uso múltiple
Otros Servicios	3	Uso Múltiple

Fuente: Autor

Para el área de desmontaje se observan dos salidas de aire adecuadas para trabajos de desinstalación de la carrocería en los cuales intervienen pistola de impacto, destornillador y esmeril neumático.

En el área de latonería se colocaron dos tomas de aire, ideales para que puedan ser utilizadas para herramientas de carpintería metálica tal como cortadora de plasma taladro neumático etc.

Junto al área de pintura tenemos dos tomas cabe recalcar que en esta sección existe la unión de las dos estructuras que sirven de soporte para dos partes del techo lo cual proporciona a su vez una adecuada ventilación del lugar.

En el área de acabados tenemos una toma puesto que las actividades de trabajo en este lugar no son tan exigentes.

Finalmente en el área de otros servicios tenemos tres tomas si bien es cierto que los trabajos en este lugar no son tan laboriosos ni de una plazo largo, colocamos tres tomas por tener una mayor agilidad en las herramientas ya que en este lugar se instalan parabrisas o se ejecutan reparaciones en la parte superior de los autobuses.

El detalle mencionado no necesariamente restringe el número de tomas para su área específica de trabajo sino que dependiendo de la demanda de actividades de reparación se las puede utilizar en distintas áreas siempre y cuando el largo de la manguera de acople no exceda los 10 metros de longitud.

3.4 Presión requerida.

La guía de aire comprimido Atlas Copco señala que la mayoría de herramientas neumáticas operan a 6 bares sin embargo ciertos equipos y corte por plasma necesitan de una presión mayor que en ocasiones bordea los 8 bar. Los compresores generalmente entregan una presión que varía de 7-10 bar dependiendo de sus características, no obstante el diseño que proponemos entrega una unidad FR en cada toma de aire que ayuda a controlar la presión según el tipo de actividad que se vaya a realizar en el taller de reparaciones.

En la empresa se tiene diferentes aplicaciones para el aire comprimido ya que se ocupan diversas herramientas, equipos y trabajos a realizar, es por estas aplicaciones que resulta necesarios identificar minuciosamente cual será la presión mínima que se necesita en nuestra red por lo cual en la tabla 3 se representan los equipos que son empleados en el taller y sus respectivas presiones de funcionamiento.

Tabla 4. Presión de funcionamiento de herramientas neumáticas

Herramientas Neumáticas	Presión requerida para su trabajo
Taladro	6.3
Lijadora excéntrica	5.3
Amoladora Angular	6,5
Pistola de aplicación	5
Pistola de pintura	5.8
Pistola de impacto	6.3
Cortadora de plasma	7,5

Fuente: Autor

3.5 Caudal Requerido.

Es importante para el diseño de la red de aire conocer la cantidad de aire que será consumido. Esto se determina al conocer las herramientas que se utilizan el número de cada una de ellas, la cantidad de consumo de cada una de los equipos, determinar si existe la posibilidad de una ampliación del área de trabajo en el cual se maneje este tipo de suministro. Si no se conoce con certeza de una ampliación se estima por recomendación en un 30%. Adicional a esto las pérdidas que se dan por fuga o rozamiento de tubería.

En la tabla 5 se detallan las herramientas que se ocupan en todas las áreas de trabajo de la empresa, así también como el consumo de aire de cada una de ellas en litros sobre segundo y la cantidad existente de cada ejemplar.

Tabla 5. Consumo de aire y cantidad de herramientas

Herramientas Neumáticas	Consumo de aire l/s	Cantidad de herramientas
Taladro	13	2
Lijadora excéntrica	8.5	2
Amoladora Angular	9.5	2
Pistola de aplicación	8	2
Pistola de pintura	6	2
Pistola de impacto	8	1
Cortadora de plasma	7.5	2

Fuente: Autor

Para obtener el caudal de aire comprimido, es necesario multiplicar el consumo por el número de herramientas y por un coeficiente de consumo el cual se muestra en la tabla 6 de esta manera identificamos el uso intermitente de cada herramienta.

Tabla 6. Caudal necesario para el circuito neumático

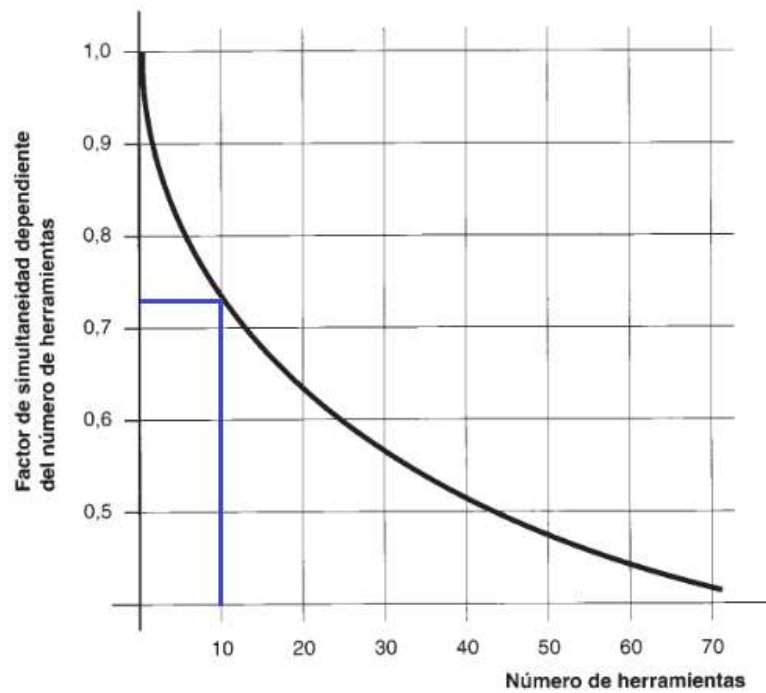
Herramientas Neumáticas	Consumo de aire l/s	Grado de utilización	Cantidad de herramientas	Caudal necesario
Taladro	13	0.2	2	5,2
Lijadora excéntrica	8.5	0.3	2	5,1
Amoladora Angular	9.5	0.3	2	5,7
Pistola de aplicación	8	0.3	2	3
Pistola de pintura	6	0.5	2	6
Pistola de impacto	8	0.1	1	0.8
Cortadora de plasma	7.5	0.3	2	4.5
Total de caudal de aire necesario				30,30

Fuente: Autor

Total de caudal de aire necesario: $Q_{teorico} = 30,30 \frac{l}{s}$

Sin embargo como ya se mencionó para el diseño de la red se requieren de 10 tomas de aire para que no existan interrupciones de labores en las horas de trabajo. Ahora el caso más crítico de consumo de caudal se presenta al momento de ocupar simultáneamente las 10 salidas de aire, no obstante estos picos de caudal no son permanentes sino que duran pocos periodos de tiempo. Estos periodos de tiempo son representados por un factor de simultaneidad el cual para nuestro caso de 10 salidas de aire es de 0.72 como lo muestra la figura 27.

Figura 27. Factor de simultaneidad dependiente del número de herramientas



Fuente: (CENTRALAIR, 1995)

Ya hemos determinado el consumo teórico de los équidos, el factor de simultaneidad nos ayuda también a determinar el caudal real que se necesita en el sistema de aire comprimido. El caudal real es el resultado de la multiplicación del caudal teórico por el factor de simultaneidad.

$$Q.\text{teórico} = 30,30 \frac{l}{s}$$

$$F.\text{simul.} = 0,72$$

$$Q.\text{real} = Q.\text{teórico} \times F.\text{simul}$$

$$Q_{real} = 30,30 \frac{l}{s} \times 0,72$$

$$Q_{real} = 21,82 \frac{l}{s}$$

Con el caudal real se aplican las correcciones respectivas para la red tales como:

Caudal real= 21,82

Correcciones.

Herramientas 5%=1,09

Fugas 10%=2,18

Ampliación de taller 30%=6,55

Caudal para la selección =31,64 litros por segundo

Habitualmente las medidas de caudal que se especifica para compresores se las expresa en CFM es decir pie cubico por minuto por sus siglas en inglés (cubic feet per minute). Así que para determinar el caudal de dimensionamiento se transforma a la unidad anglosajona.

$$31,64 \frac{l}{s} = \frac{31,64l}{s} \times \frac{0,0353146ftc}{1l} \times \frac{60seg}{1min} = 67,06 CFM$$

3.6 Selección del compresor.

Para seleccionar el compresor adecuado se toma como punto de partida el caudal para selección el cual corresponde a 67,06 CFM y la máxima presión a la que trabajan los equipos que utilizan este abastecimiento teniendo una presión de 7,5 bar.

Por lo anteriormente expuesto se optó por incorporar al diseño dos compresores trabajando en paralelo esto favorecerá a trabajos de mantenimiento tanto del equipo

compresor como de la red de distribución reduciendo el compromiso de una posible paralización del labores en el taller.

No se encontró un compresor con características idénticas tanto en caudal como en presión, pero si existen equipos que superan por pocas unidades estas dimensiones que se calcularon. Por colaboración de centros comerciales se pudo obtener las características que se detallan en la tabla 6.

Tabla 7. Características del compresor

Ficha técnica del compresor.	
Potencia	10 hp
Caudal	35,5 SCFM
Presión máxima	175 PSI o 12,5 bar
Capacidad del tanque	500 litros
Voltaje	220 V
Salida del deposito	25mm roscado

Fuente: Autor

Cada compresor requiere de conexiones a 220v trifásica, con una potencia de 10 hp por cada uno, es decir 20 hp en total de parte del equipo compresor, los dos elementos otorgan una capacidad de almacenamiento de 1000 litros el cual es un buen volumen para su distribución.

La suma de los caudales de los dos compresores es igual a 71 SCFM pero esta cantidad de caudal se ve una vez más afectada por la altitud de 2500 metros sobre el nivel del mar a la que se sitúa el taller en la ciudad de Ambato. Este caudal se reduce según los valores expuestos por la tabla 7.

Tabla 8. Reducción por aumento de 1000 metros de altitud.

Reducción por aumento de 1000 metros de altitud.	
Tipo de compresor	SCFM %
C. de tornillo exento de aceite 1 E.	0,3
C. de tornillo exento de aceite 1 E.	0,2
C. de tornillo con aceite 1E.	0,5
C. de pistón de 1 Etapa	5
C. de pistón de 2 Etapa	2
C. centrifugo multietapas	0,4

Fuente: (Atlas Copco, 2011)

De acuerdo con esta especificación por cada 1000 metros un compresor de pistón de doble etapa disminuirá 2% de su caudal libre suministrado. Es decir que en total cada compresor debe disminuir un 5% de sus caudales libres respectivamente. Entregando en total:

$$35,5 \text{ SCFM} \times 5\% = 1,775 \text{ SCFM}$$

$$1,775 \text{ SCFM} \times 2 \text{ comp.} = 3,55 \text{ SCFM}$$

$$71 - 3,55 = 67,45 \text{ SCFM}$$

En total tras la corrección del efecto de la altitud sobre los compresores tenemos 67,45 SCFM de caudal libre suministrado, con el que ya se puede calcular correctamente el diámetro de las tuberías, y selección del resto de componentes.

3.7 Dimensionamiento de la red neumática

Tras la selección adecuada del compresor necesitamos una red de tuberías capaces de transportar el aire comprimido con la menor pérdida posible de presión por su rugosidad,

extensión y cantidad de accesorios, además debe de llevar el aire hasta el punto de consumo en las condiciones ideales para su utilización.

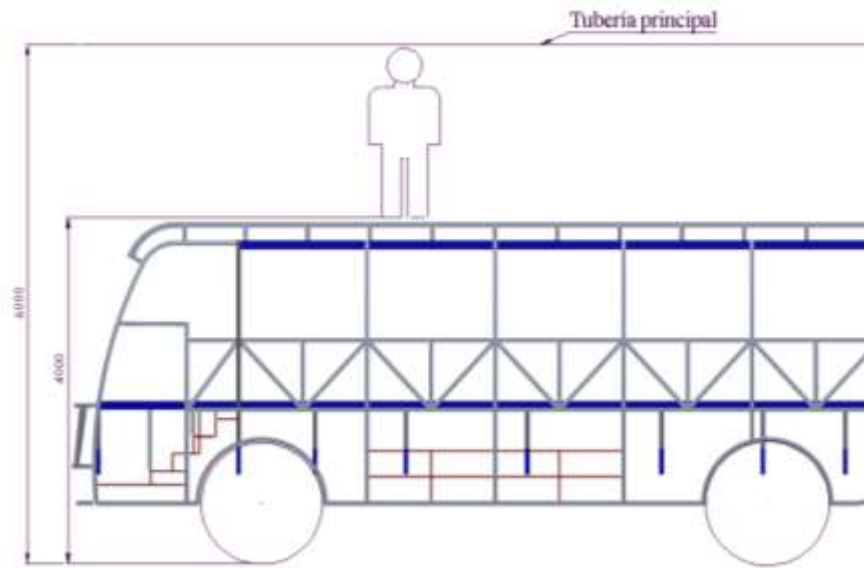
Una red de distribución de aire comprimido debe cumplir tres condiciones: una baja caída de presión entre el compresor y el punto de consumo, un mínimo de fugas de las tuberías de distribución y un drenaje eficaz de los condensados si no se ha instalado un secador de aire comprimido. (Atlas Copco, 2011)

3.7.1 Configuración de la red. La configuración de red seleccionada para el diseño se la realizo teniendo en cuenta que se poseen 10 surtidores de aire comprimido de los cuales puede existir un uso simultaneo del cual se habló anteriormente, lo que produce caídas de presión muy repentinas. Al usar la disposición de conducto principal en anillo se minimizan estas caídas de presión puesto que el anillo principal es alimentado por dos puntos.

Esta disposición de anillo se establece en forma de cuadrado siguiendo las delimitaciones de las columnas que soportan el techo de las zonas de trabajo, para su anclaje respectivo la ubicamos a 6 metros de altura puesto que normas de seguridad establecen que la altura mínima admisible para conductos de aire o gas debe ser de 7 pies a partir de la base por la que transitan los trabajadores (figura 27). La estructura actual del galpón cuenta con anclajes lo bastante generosos como para apoyar nuestro sistema, estos apoyos actualmente ya soportan las instalaciones de energía eléctrica. Sin embargo en los tramos A y C de la figura 38 las distancias son de 12 metros por lo que dotaremos en el diseño de cuatro anclajes adicionales cada 6 metros para la sujeción de la red de distribución.

Adicional a esto por situaciones de mantenimiento y reparación de la red conectamos válvulas esféricas en cada vértice de la red cuadrada logrando así separar tramos de la malla de suministro para dichas actividades.

Figura 28. Altura de la tubería principal



Fuente: Autor

En este tipo de distribución no es necesaria una pendiente para el agua condensada puesto que es llevada en cualquier dirección, para prevenir que este elemento tenga contacto con los equipos que dependen de este suministro se adicionan cuellos de ganso para cada una de sus divisiones secundarias de la red además se colocaron unidades de mantenimiento en cada una de las salidas de aire comprimido.

3.7.2 Selección del diámetro de la tubería. Las especificaciones del compresor claramente manifiestan que la tubería principal que sale del depósito solidario al compresor debe ser de una pulgada pues todo el diseño de esta máquina abarca estas dimensiones la sugerencia de continuar con este diámetro se la hace de manera general sin importar las extensiones de la industria en la que se instale.

Se utilizó la recomendación del texto de neumática de THOMSON para aprobar esta sugerencia del fabricante de compresores. Este libro nos presenta una manera muy práctica de conocer el diámetro necesario en base a un nomograma para el cálculo del diámetro de los conductos principales (figura 29).

Para utilizar este artificio es necesario conocer la presión nominal de trabajo, considerar una caída de presión por longitud no mayor a 0,3 bar (0,3bar=30Kpa), longitud de la red y el caudal libre de aire en metros cúbicos sobre segundo.

Para la caída de presión por longitud ignoramos la alimentación en dos puntos de la configuración de anillo y solo tomamos un tramo de esta hacia la toma más lejana del Sistema. Dando como resultado:

$$\text{longitud de la tubería } p. = 23,86 + 17,77 + 9,92 = 51,55 \text{ m}$$

$$\Delta p_t = \frac{30 \text{ kpa}}{51,55 \text{ m}}$$

$$\Delta p_t = 0,58 \frac{\text{kpa}}{\text{m}}$$

La presión nominal de trabajo la establecemos sacando el promedio aritmético entre la presión de arranque del compresor y la presión de desactivación del mismo teniendo como resultado:

$$P.ON = 8,5 \text{ bar}$$

$$P.OFF = 10,5 \text{ bar}$$

$$P.NOM = 9,5 \text{ bar}$$

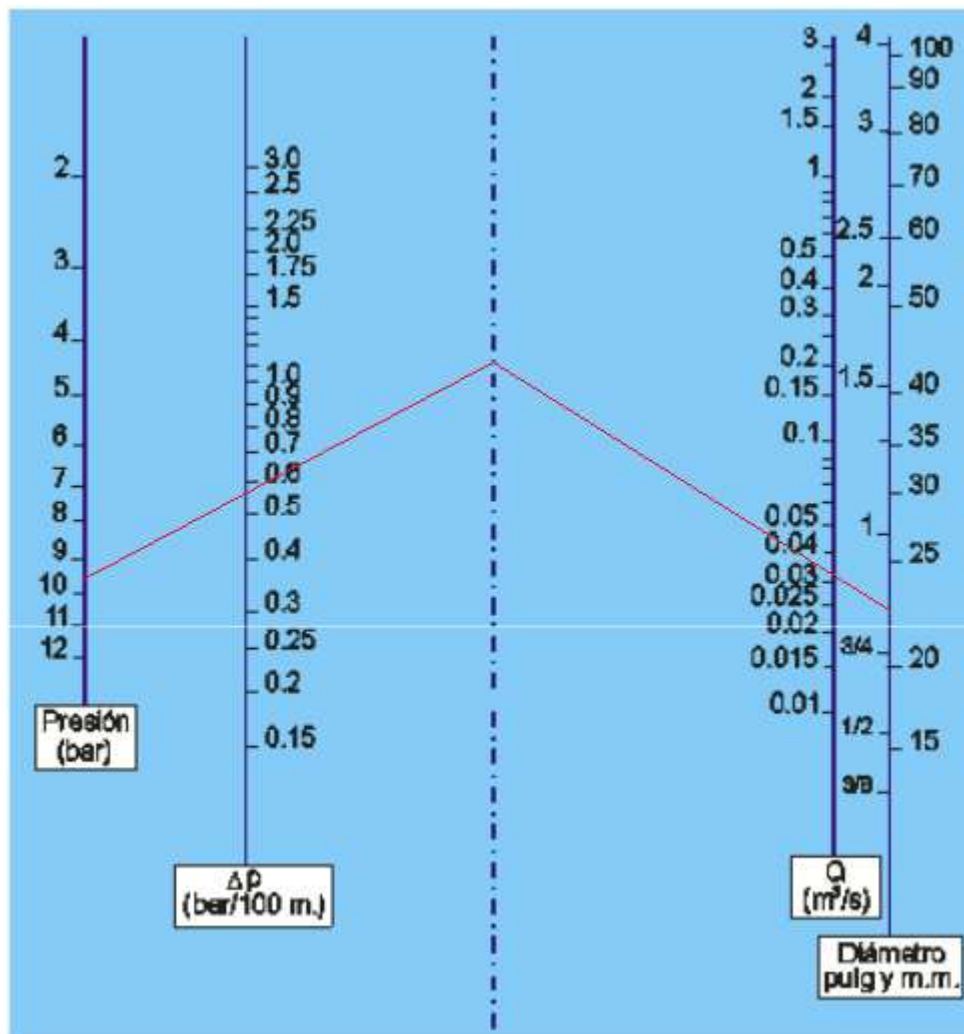
El caudal libre suministrado esta expresado en SCFM para elaborar el diagrama se lo transforma a unidades en $\frac{\text{m}^3}{\text{s}}$ que corresponde a:

$$67,45 \text{ SCFM} = \frac{67,45 \text{ ft}^3}{\text{min}} \times \frac{0,0283168 \text{ m}^3}{1 \text{ ft}^3} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg}} = 0,32 \frac{\text{m}^3}{\text{seg}}$$

Para elaborar el diagrama primero trazamos una línea desde el valor de la presión nominal para este caso 9,5 bar hacia la línea constructiva del centro, pasando por la caída de presión por longitud que para esta red es $0,58 \frac{\text{kpa}}{\text{m}}$ y para finalizar este punto que se marca

en la línea constructiva es el origen de otra línea que pasa por el caudal de $0,32 \frac{m^3}{seg}$, se prolonga esta línea hasta que interseque con la línea de los diámetros nominales de la tubería principal.

Figura 29. Nomograma para el cálculo del diámetro de la tubería de los conductos principales



Fuente: (SMC, 2003)

La grafica muestra un diámetro entre 20 y 25mm, a la cual para darle un visto bueno se debe hacer las correcciones esta vez aplicando las longitudes equivalentes que en la primera ocasión se despreció.

Tabla 9. Longitud Equivalente por accesorios

Accesorios de 1"	Número de elementos	Longitud unitaria (m)	Longitud equivalente (m)
Codo	8	1,5	12
Tee	13	1,5	19,5
Universal	8	0,5	4
Válvula esférica	7	0,2	1,4
Válvula check	2	2,2	4,4
Longitud equivalente total por accesorios			41,3

Fuente: Autor

$$LT = long.tube + long.acce$$

$$LT = 51,55 + 41,30 = 92,85$$

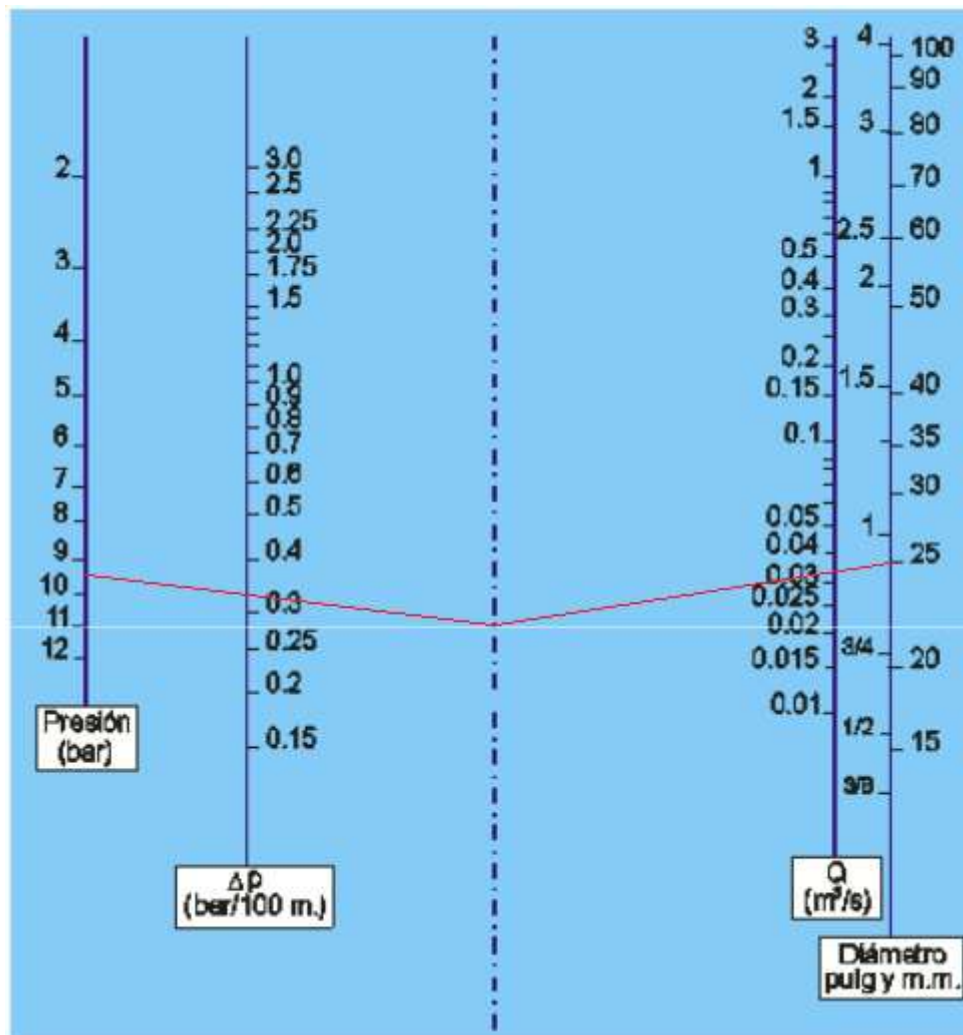
Esta nueva longitud arroja también una nueva variación de presión por longitud.

$$\Delta p_{TL} \frac{30k\ pa}{92,85\ m}$$

$$\Delta p_t = 0,32 \frac{kpa}{m}$$

Realizando las correcciones se obtiene como resultado:

Figura 30. Nomograma para el cálculo del diámetro de la tubería de los conductos principales



Fuente: (SMC, 2003)

La recomendación del fabricante y el análisis matemático con ayuda del nomograma atestiguan que el diámetro de 25mm es el ideal para aplicarlo en la tubería principal del anillo de aire comprimido.

3.7.3 Material de la tubería. Actualmente en el mercado del centro del país se puede encontrar una gran gama de materiales de tuberías que se pueden utilizar en una red de aire comprimido, esta gama va desde tubos galvanizados hasta tubos de cobre y nylon. Pero cada uno de estos materiales necesita de una instalación adecuada con supervisión técnica que muchas veces por el factor económico y de tiempo no están al alcance de un

mantenimiento o reparación inmediata.

Es por ello que se eligió tubos galvanizados roscados para la salida de la sala de compresores, anillo principal y tuberías secundarias. Y para las tuberías de servicio se prefirió utilizar manguera de goma reforzada ya que brinda flexibilidad y libertad de movimiento para el operador cuyas longitudes están en rango de 5 a 10 metros de longitud, esto cubre por completo el espacio de las áreas de trabajo.

Existen una gran variedad de tubos galvanizados según la normalización específica que cumple cada fabricante. Nuestra elección se inclinó hacia tubos galvanizados fabricados en Ecuador por la empresa IPAC que cumplen con certificación INEN 2470 , esta norma certifica su idoneidad para la transportación de fluidos brindando una protección anticorrosiva a base de Zinc y un límite a la resistencia de presión de 50 bar muy por encima de las presiones erogadas por el compresor seleccionado.

3.8 Requerimientos de la red

3.8.1 *Conexión eléctrica.* En la tabla 7 de características del compresor seleccionado, se especifica que el equipo debe funcionar a 220v. MANSER cuenta con su propio transformador eléctrico que otorga un suministro de 220v. Suficiente para abastecer a las diferentes áreas de la empresa.

3.8.2 *Calidad del aire.* Una vez seleccionado el equipo compresor y sus respectivas cañerías es conveniente apoyar la eficiencia del sistema dotándolo de elementos que mantengan una calidad de aire adecuada para los distintos trabajos que se realizan en el taller de reparación. La calidad de aire se la designa según la herramienta y el trabajo en la que se emplea.

Tabla 10. Uso de las herramientas neumáticas.

Herramientas Neumáticas	Se los emplea en
Taladro	Taladrado mecánico y Latonería

Lijadora excéntrica	Preparación de superficie
Amoladora Angular	Preparación de sup. Y latoneria
Pistola de aplicación	Aplicación de polímeros
Pistola de pintura	Aplicación de Esmaltes
Pistola de impacto	Desmontaje
Cortadora de plasma	Trabajos de Forja y suelda

Fuente: Autor

En la tabla 10 se mencionan herramientas que utilizan la energía del aire comprimido para accionar sus rotores, desplazar pastas y enroscar elementos de ajuste, dando movimiento para realizar sus trabajos de desbaste, taladrado, etc. Estos equipos son los taladros, lijadoras, amoladoras pistolas de aplicación y pistolas de impacto equipos que no necesitan una gran calidad de aire comprimido para un funcionamiento normal.

Ahora los equipos que necesitan una determinada calidad de aire para su funcionamiento normal son la pistola de pintura y la cortadora de plasma.

Los manuales de los fabricantes Parker y Festo manifiestan que un aire de pureza ISO 8573-1 clase “1.4.3” (Partículas = clase 1, Agua= clase 4, Aceite = clase 3) de uso general es suficiente para manipular equipos de suelda, forja, herramientas neumáticas e instrumentación en general.

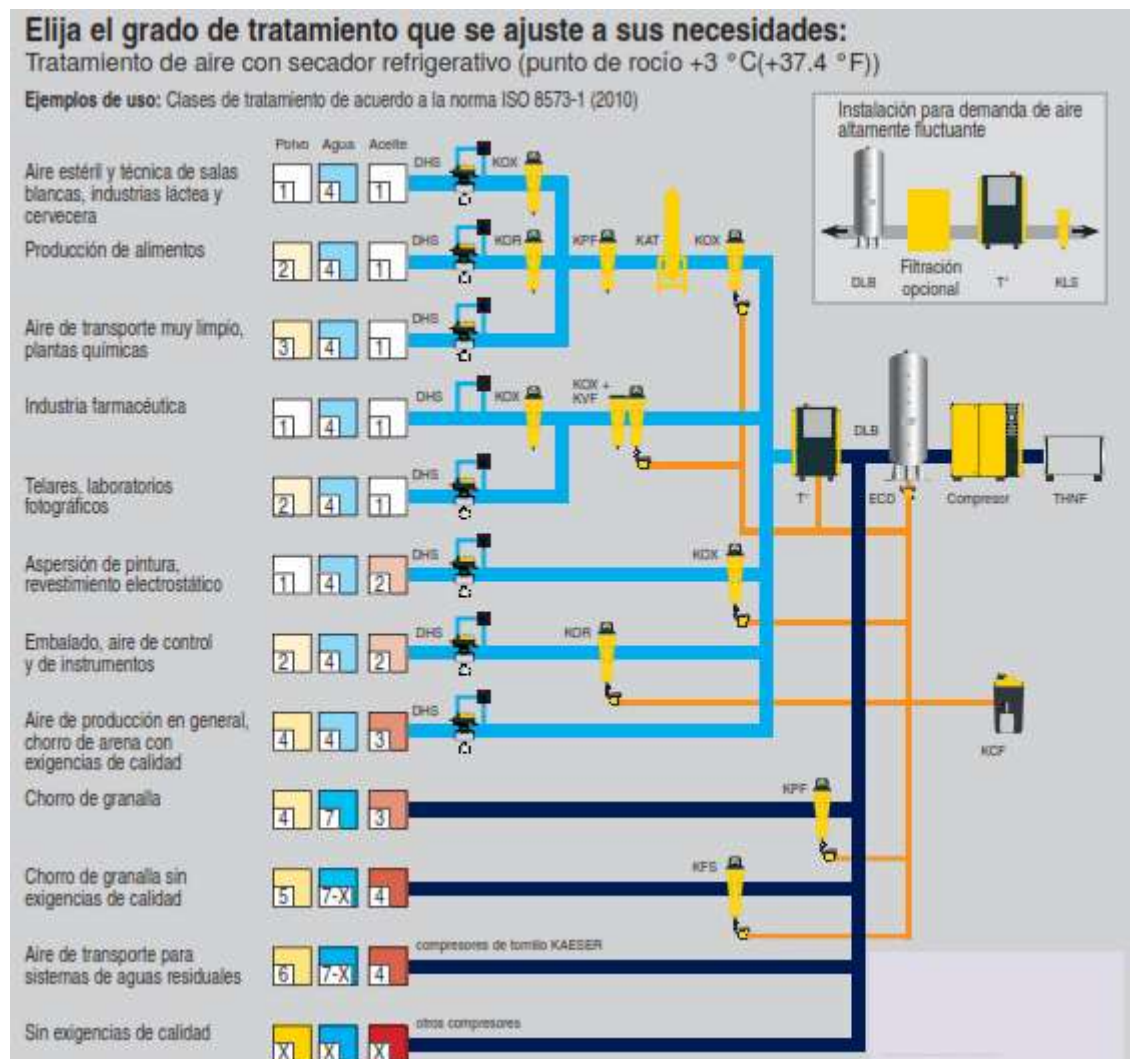
En el caso de la pistola de Pintura, para un brillo dotado de belleza se requiere de pintura sin presencia de sustancias o partículas que entorpezcan en la impregnación de la pintura.

“Los fabricantes de automóviles insisten en la ausencia total de fallos al aplicar la pintura. Por ello, es necesario asegurarse de que el aire comprimido utilizado en las secciones de aplicación de pintura no contenga ni agua ni aceite. Para que la pintura se adhiera satisfactoriamente a la superficie de la carrocería, es necesario que esta superficie esté limpia. De lo contrario se provocarían costosos trabajos de corrección posterior, lo que para el fabricante significaría una considerable reducción del margen de beneficios por cada automóvil.” (Festo, 2015) Para minimizar los daños, se considera las siguientes

clases según ISO 8573-1:2010; “1.4.2” es decir Partículas = Clase 1 Agua = Clase 4 Aceite = Clase 2.

La ubicación adecuada de los accesorios de purificación se detalla en la figura 30.

Figura 31. Elección de tratamiento



Fuente: (KAESER, 2010)

Para seleccionar el secador nos apoyamos directamente en la calidad de aire que necesitamos y en la ubicación predeterminada que de la figura 31. El compresor cuenta con un post enfriador lo que significa que entrega un aire de baja temperatura, la posición geográfica de la ciudad en la que se encuentra el fabricante hace que en las mañanas se lleguen a tener temperaturas ambientes de 8 °C, lo que nos da una referencia de la

temperatura a la que la tubería se va a encontrar, la humedad de aire que se necesita obedece a que no exista una condensación a partir de temperaturas de 3°C.

Adicional al punto de rocío se debe seleccionar un secador que trabaje a un caudal igual o mayor de $1,91 \frac{m^3}{min}$ y que brinde una caída de presión mínima. Es por todo ello que se optó por un secador de membrana. Generalmente estos secadores demandan un mínimo de mantenimiento, generan una caída de presión de 0,08 bar y dependiendo del fabricante son capaces de atrapar tanta humedad que generan condensación a en rangos de -3°C a -70°C

Una vez seleccionado el secador del sistema es conveniente que seleccionemos las unidades filtro-regulador FR; el modelo de la unidad será la misma para todas las tomas del sistema tomando en cuenta que todas están sometidas a las mismas condiciones de trabajo y de necesidades del aire.

Al igual que se seleccionó el secador, a través de las normas de calidad de aire también se seleccionaran los filtros de la unidad FR. Una manera de ahorrar espacio, caída de presión y dinero es elegir un filtro coalescente este filtro atrapa agua y aceite al final de la toma estos elementos a su vez se pueden presentar en forma líquida o gaseosa, sin embargo el grado de porosidad se guía en base a la cantidad permisible de aceite es decir $0,01 \frac{m.g}{m^3}$ y produce una caída de presión de 0,08 bar.

El filtro de partículas sólidas debe entregar un máximo de 20000 partículas de 1 micra por metro cubico de aire comprimido, general mente este filtro va adicionado al regulador de presión de aire, juntos dan una caída de presión de 0,15 bar más la caída de presión de 0,07 bar por racor suman 0,23 bar de caída de presión.

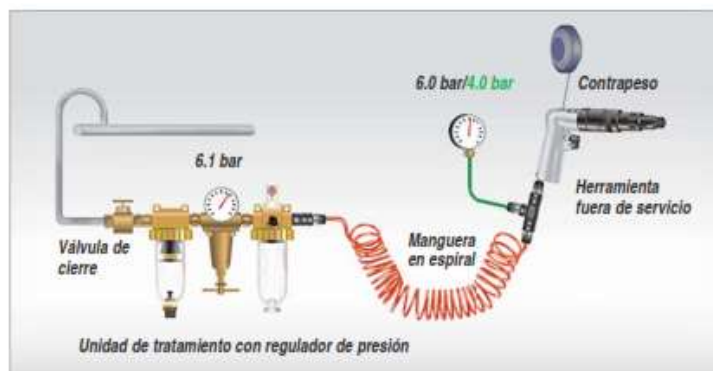
El sistema contará con elementos que reducen la condensación en las tuberías sin embargo, esta condensación se puede dar cuando las temperaturas del ambiente afecten a las tuberías de la red, para ello se incorporó una configuración de cuello de ganso para evitar que el agua circule por las tuberías secundarias.

3.8.3 Manipulación de equipos. Hasta ahora el sistema analizado cuenta con todos los

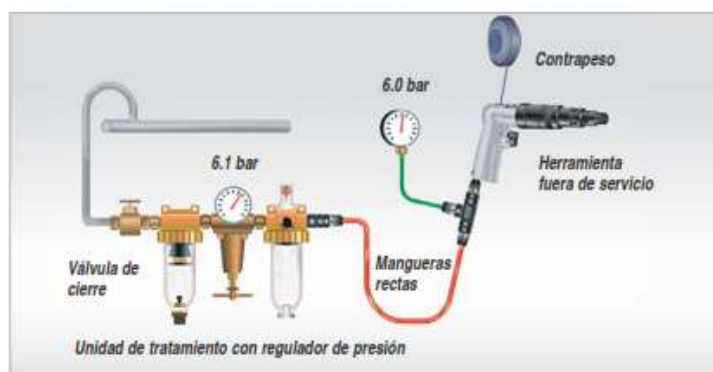
elementos para generar y transportar aire comprimido hasta las tomas de las zonas de trabajo. Pero las herramientas neumáticas del taller se desplazan alrededor de la carrocería. Para llegar todas las secciones de las carrocerías que necesitan de un servicio, se sugiere la utilizar mangueras de 10 metros de longitud que ayuden a la manipulación de herramientas que dependen de este suministro.

La elección de la manguera a utilizar debe basarse en el consumo de aire libre, expresado en l/min que requiere una herramienta cuando funciona a plena carga y a la máxima potencia. Toda esta información la proporciona el fabricante de herramientas. Para el caso de MANSER todos los dispositivos requieren de una manguera de 10mm de diámetro interior que arrojan una caída de presión de 0,2 bar. Estas mangueras por recomendación del fabricante de compresores KAESER deben ser rectas ya que en forma de espiral aumentan bruscamente las caídas de presión como se muestra en la figura 32.

Figura 32. Caída de presión según el tipo de manguera.



Conexión de herramienta con manguera en espiral – presión 6.0 bar mientras no se consume aire comprimido, 4.0 bar con herramienta en marcha = 2 bar de caída de presión: rendimiento solo al 54 %



Los separadores de agua y las mangueras en espiral son devoradores de energía: Para sustituirlos, elija un secado centralizado del aire comprimido y mangueras rectas

Fuente: (KAESER, 2010)

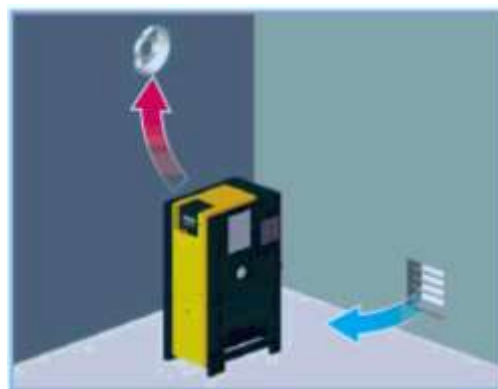
3.8.4 *Seguridad*. El aire comprimido al ser una fuente de energía, en sus formas de uso y empleo genera ruido, desprendimientos, pulverización, etc. Es por ello que se considera muy importante la distribución de señalización de equipos de protección personal en la nueva toma de aire que se mencionan en el diseño.

3.8.5 *Color de las tuberías*. Las tuberías en una industria llevan en su interior una serie de elementos y sustancias destinados para los trabajos elaborados en una fábrica. Estas tuberías deben ser identificadas por un color el mismo que determinara el tipo de elemento y en condiciones se encuentra en su interior. Para el caso del aire comprimido el INEN indica que se lo debe de identificar pigmentándolo de color azul adicional a esto una leyenda con la presión máxima aplicada en el interior de la tubería expresada en pascales es decir para el caso el circuito en cuestión será de 1,05 Mpa (10,5 bar) Anexo J

3.8.6 *Ventilación en la sala de compresores*. La sala de compresores necesita tener un cierre adecuado para reducir emisiones sonoras hacia el medio en el que trabajan los operadores, que impida el ingreso de polvo y sustancias contaminantes hacia el medio de aspiración de los compresores y aporte con circulación de aire para una buena ventilación.

El equipo compresor es de un tamaño mediano y requiere de una ventilación adecuada para su buen desempeño, para equipos cuya potencia es mayor a 11 kw. Se requiere de una ventilación artificial es decir que para la circulación de aire dentro de la sala de compresores se necesita de un ventilador.

Figura 33. Ventilación artificial con ventilador externo



Fuente: (KAESER, 2010)

Como se muestra en la figura 33 El aire de ventilación se tomará del exterior, sin usar una canalización. La aspiración se debe instalar lo más baja posible. El ventilador se colocará en lo alto de una de las paredes opuestas a la aspiración de la estación de compresores. Para la selección del ventilador debemos determinar el caudal mediante la siguiente formula:

$$Qv = \frac{Pc}{0,92 \times \Delta T}$$

En donde:

Qv = Caudal de aire para ventilación

Pc =Potencia del equipo compresor en kW

ΔT =Variación de temperatura permisible en ° C

La potencia de los dos compresores juntos suman 20 HP es decir 14,91 kW y se permite una variación de 5 ° C de temperatura. Reemplazando tenemos que:

$$Qv = \frac{14,91}{0,92 \times 5}$$

$$Qv = 3,24 \frac{m^3}{s}$$

Finalmente se necesita un ventilador capaz de extraer un caudal de aire de $4 \frac{m^3}{s}$ ya que comercialmente no encontraremos uno del caudal calculado.

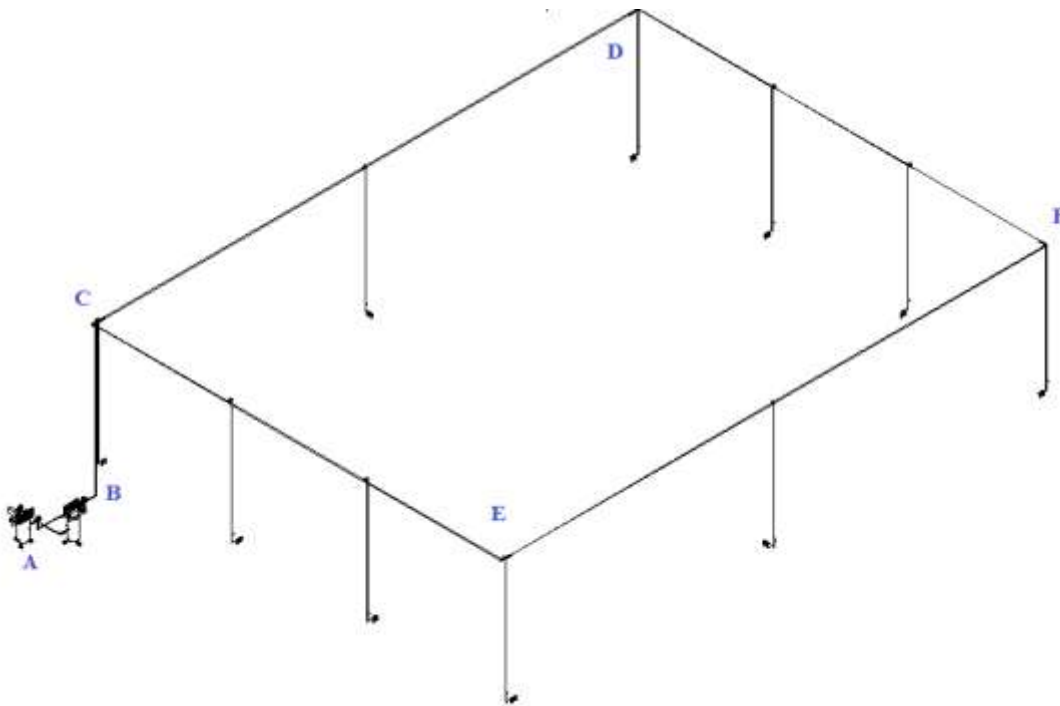
3.9 Caída de presión por pérdida de longitud y accesorios.

Para considerar que un diseño un sistema neumático es aceptable la perdida de potencia no debe ser mayor al 10 % es decir que si un compresor trabaja a 10 bar su caída máxima permisible se estable en 1bar. Así la presión que llega al punto más lejano de la instalación no debe ser menor a 9 bar.

La pérdida total resulta de la suma de las perdidas tanto en la línea principal, tuberías secundarias, accesorios, secadores, filtros, etc.

3.9.1 *Perdida de la tubería principal.* Para estudiar la perdida en la tubería principal de este sistema se la dividió en dos conjuntos, A-B-C y C-D-E-F a los cuales por su uso y geometría se manejan con diferentes caudales y velocidades:

Figura 34. Isometría del conjunto neumático propuesto



Fuente: Autor

- La primera es la tubería que sale directamente del equipo compresor hasta su unión A-B-C con el anillo principal.
- La segunda es el anillo principal. C-D-E-F

Los compresores seleccionados entregan juntos un caudal total de 67,45CFM ($1,91 \frac{m^3}{min}$) el cual es nuestro caudal de entrada al sistema y también es el caudal para determinar la pérdida en el primer conjunto la tubería principal, mediante la siguiente formula:

$$\Delta p = \frac{\beta}{R \cdot T} \times \frac{V^2}{D} \times L \times P$$

En donde:

Δp = caída de presión, bar.

P = Presión, bar.

R = constante del gas (29,27 para el aire)

T = temperatura Absoluta ($^{\circ}\text{C}+273$)

D = diámetro de la tubería, mm.

L = longitud de la tubería, m.

V= Velocidad del aire en metros sobre segundo: $\frac{\frac{m^3}{min}}{60 P} \times \frac{10000}{cm^2 \emptyset \text{ de la tubería}}$

G = Cantidad de aire suministrada en $\frac{Kg}{h}$ ($1 \frac{Kg}{h} = 60 \times 1,3 \frac{m^3}{min}$) variable para determinar β

β = índice de resistencia.

Concediendo valores a cada variable tenemos:

P = 8,5 bar. Esta es una presión manométrica a la que sumamos un 1 bar para trabajar en unidades absolutas es decir 9,5 bar.

R = 29,27

T = $20+273=293$

D = 25 mm.

$$Q = 1,91 \frac{m^3}{s}$$

Longitud Tramo A-B-C:

Longitud de tubos: $5,92 + 4 = 9,92m$

Longitud de accesorios:

Tabla 11. Longitud equivalente por accesorios de la línea principal

Accesorios de 1"	Número de elementos	Longitud unitaria (m)	Longitud equivalente (m)
Codo	4	1,5	6
Tee	1	1,5	1,5
Universal	3	0,5	1,5
Válvula esférica	2	0,2	0,4
Válvula check	2	2,2	4,4
Total de longitud equivalente =			13,8

Fuente: Autor

$$L = 9,92 + 13,8 = 23,72 \text{ m.}$$

Se calcula la velocidad para dicho tramo:

$$V = \frac{1,91 \frac{m^3}{min}}{60 (8,5+1)} \times \frac{10000}{4,91 cm^2} = 6,83 \frac{m}{s}$$

$$G = 60 \times 1,3 \times 1,91 \frac{m^3}{min} = 148,98$$

Una vez obtenido G se selecciona el índice de resistencia.

Tabla 12. Índices de resistencia β para G Kg de peso del aire comprimido que circula por hora

G cantidad de aire suministrado	β índice de resistencia
10	2,03
15	1,92
25	1,78
40	1,66
65	1,54
100	1,45
150	1,36
250	1,26
400	1,18
650	1,10

Fuente: (SMC, 2003)

$$\beta = 1,36$$

Reemplazando en la ecuación

$$\Delta p_{T1} = \frac{1,36}{29,27 \times 293} \times \frac{6,83^2}{25} \times 23,72 \times 9,5$$

$$\Delta p_{T1} = 0,07$$

Como se mencionó anteriormente al sistema se lo doto de un secador para mejorar la humedad del aire. Este elemento de purificación del aire adiciona un 0,08 bar de caída en la tubería principal.

$$\Delta p = 0,07 + 0,08$$

$$\Delta p = 0,15 \text{ bar}$$

Para el análisis de caída de presión en el anillo debemos hacer correcciones de algunas variables. Una de ellas es el caudal, en un principio para dimensionar la tubería principal la longitud total del perímetro se divide a la mitad esto se debe que el sistema es alimentado por dos orificios al mismo tiempo, y para lograr esta doble alimentación se ayuda de un accesorio tee el mismo que divide a la mitad el caudal principal erogado por el equipo compresor.

A la presión absoluta de 9,5 bar le restamos 0,15 bar de pérdida del primer tramo A-B-C, ya que esta será la presión a la que el aire llegue al anillo de distribución.

$$P = 9,35 \text{ bar.}$$

$$R = 29,27$$

$$T = 20 + 273 = 293$$

$$D = 25 \text{ mm.}$$

$$Q = 0,95 \frac{m^3}{s}$$

Longitud Tramo C-D-E-F: en este tramo se considera solo la mitad del perímetro del anillo es decir la longitud de C-D-F o C-E-F.

$$\text{Longitud de tubos: } 23,86 + 17,77 = 41,63\text{m}$$

Longitud de accesorios:

Tabla 13. Longitud equivalente por accesorios del anillo principal

Accesorios de 1"	Número de elementos	Longitud unitaria (m)	Longitud equivalente (m)
Codo	4	1,5	6
Tee	12	1,5	18
Universal	5	0,5	2,5
Válvula esférica	5	0,2	1
Total de longitud equivalente			27,5

Fuente: Autor

$$L = 41,63 + 27,5 = 69,13 \text{ m.}$$

Se calcula la velocidad para dicho tramo:

$$V = \frac{0,955 \frac{m^3}{min}}{60 (9,35)} \times \frac{10000}{4,91 cm^2} = 3,47 \frac{m}{s}$$

$$G = 60 \times 1,3 \times 0,955 \frac{m^3}{min} = 74,49$$

Una vez obtenido G se selecciona el índice de resistencia.

Tabla 14. Índices de resistencia β para G Kg de peso del aire comprimido que circula por hora

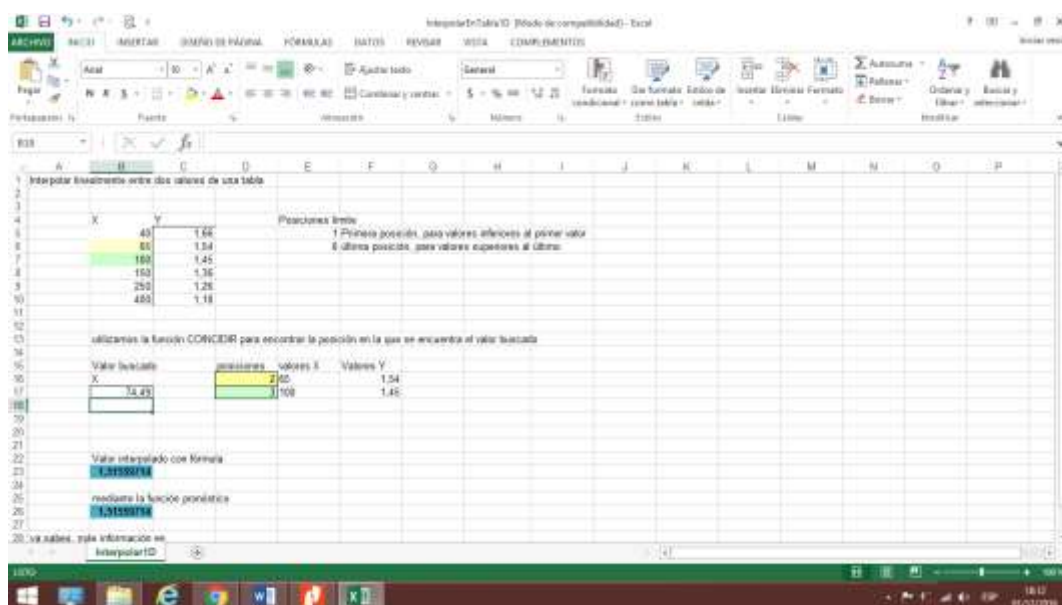
G cantidad de aire suministrado	β índice de resistencia
10	2,03
15	1,92
25	1,78

40	1,66
65	1,54
100	1,45
150	1,36
250	1,26
400	1,18
650	1,10

Fuente: Autor

Como se muestra en la tabla no existe un valor muy cercano a 74,49 en consecuencia se tiene un rango muy distante de resistencia de 1,45 a 1,54. En el caso del primer tramo se tiene un G de 148,98 que no está tan distante al valor expresado en la tabla que corresponde a 150, por lo tanto se puede adoptar el mismo valor de β . Sin embargo para este tramo no podemos tomar esa decisión con tanta libertad debido a su amplitud. Por lo que se decide interpolar con ayuda de EXCEL.

Figura 35. Interpolación en Excel



Fuente: Autor

Donde se consiguió:

$$\beta = 1,52$$

Reemplazando en la ecuación

$$\Delta p_{T2} = \frac{1,52}{29,27 \times 293} \times \frac{3,47^2}{25} \times 69,13 \times 9,35$$

$$\Delta p = 0,06 \text{ bar}$$

Se calcularon las pérdidas en los dos tramos de la tubería principal la suma de estas caídas de presión dan como resultado:

$$\Delta p_{LP} = 0,15 + 0,06$$

$$\Delta p_{LP} = 0,21 \text{ bar}$$

3.9.2 Pérdida de las tuberías secundarias. En las líneas secundarias quien define el caudal para el cálculo son los consumidores. El consumidor que más aire utiliza requiere un caudal de 13 l/s ($0,78 \frac{m^3}{min}$). Y para determinar la pérdida se utilizan las mismas ecuaciones que se emplearon para encontrar la pérdida en la línea principal, pero con los valores de variables correspondientes a las líneas secundarias.

A la presión absoluta de 9,50 bar le restamos 0,21 bar de pérdida del tramo A-B-C-D-F, ya que esta será la presión a la que el aire llegue a la ramificación vertical más distante del sistema.

$$P = 9,29 \text{ bar.}$$

$$R = 29,27$$

$$T = 20 + 273 = 293$$

$$D = 13 \text{ mm.}$$

$$Q = 0,78 \frac{m^3}{s}$$

Longitud de la ramificación:

Longitud de tubos: 5,5 m

Longitud de accesorios:

Tabla 15 Longitud equivalente por accesorios de líneas secundarias

Accesorios de 1"	Número de elementos	Longitud unitaria (m)	Longitud equivalente (m)
Codo	3	0,6	1,8
Universal	1	0,5	0,5
Válvula esférica	1	0,5	0,5
Reducción	1	0,5	0,5
Total de longitud equivalente			3,3

Fuente: Autor

$$L = 5,5 + 3,3 = 8,8 \text{ m.}$$

Se calcula la velocidad para dicha ramificación:

$$V = \frac{0,78 \frac{m^3}{min}}{60 (9,29)} \times \frac{10000}{1,33 cm^2} = 10,52 \frac{m}{s}$$

Una vez obtenido G se selecciona el índice de resistencia.

$$G = 60 \times 1,3 \times 0,78 \frac{m^3}{min} = 60,84$$

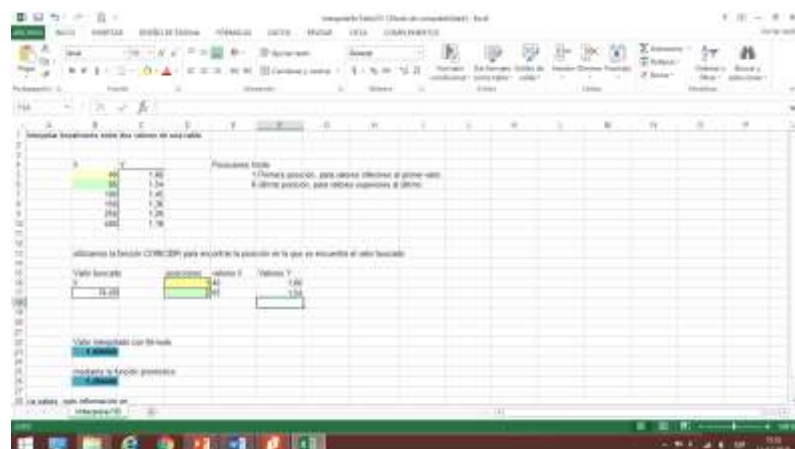
Tabla 16. Índices de resistencia β para G Kg de peso del aire comprimido que circula por hora

G cantidad de aire suministrado	β índice de resistencia
10	2,03
15	1,92
25	1,78
40	1,66
65	1,54
100	1,45
150	1,36
250	1,26
400	1,18
650	1,10

Fuente: (SMC, 2003)

Se decide interpolar con ayuda de EXCEL para analizar con un valor más exacto.

Figura 36. Interpolación en Excel



Fuente: Autor

$$\beta = 1,49$$

Reemplazando en la ecuación

$$\Delta pTs = \frac{1,49}{29,27 \times 293} \times \frac{10,52^2}{13} \times 8,8 \times 9,29$$

$$\Delta pTs = 0,12 \text{ bar}$$

Finalmente se adiciona la caída de presión por la unidad FR adiciona a esto una caída de presión de 0,23 bar. Todas las caídas de presión por tubería y accesorios se muestran en la tabla 17.

Tabla 17. Caída de presión por longitudes y accesorios

Longitud y Accesorio	Caída de presión (bar)
Tubería Principal Tramo A-B-C	0,07
Secador de membrana	0,08
Tubería Principal Tramo C-D-F	0,06
Tubería Secundaria	0,11
Filtro coalescente Agua - Aceite	0,08
Filtro de partículas	0,08
Regulador-racor	0,07
Total de Caída de Presión (bar)	0,56

Fuente: Autor

3.10 Caída de presión por consumo

La caída de presión por consumo finalmente es lo que nos resta de la presión libre que puede imprimir el equipo compresor y ayudara a corroborar que el tamaño de los depósitos es el adecuado.

La mayor presión manométrica que corresponde al uso de herramientas es de 7,5 bar, las caídas de presión por pérdida de longitud de tubería es de 0,56 bar, caída de presión por manguera 0,2 bar y la presión mínima que eroga el compresor es de 8,5 bar:

$$\Delta pC = 8,5 - 7,5 - 0,56 - 0,2$$

$$\Delta pC = 0,24 \text{ bar}$$

Al inicio del estudio se manifestó que este sistema está diseñado para un uso intermitente, es decir que el caudal ocupado por las herramientas no es contante en un día de trabajo sino que el uso simultaneo de herramientas será por uno pocos instantes de tiempo.

Esta diferencia de presión de 0,24 bar nos ayudara a corroborar si los depósitos de almacenamiento son adecuados para la red en cuestión. Atlas ayuda a determinar el volumen del depósito mediante la siguiente ecuación:

$$v = \frac{Qxt}{\Delta pC}$$

En donde:

V= volumen del acumulador

Q= caudal libre.

t=Tiempo de utilización del mayor consumidor.

ΔpC = caída de presión permisible por consumo.

El consumo total de aire con todas las consideraciones del caso es de $31,64 \frac{l}{s}$ la herramienta que más consume en este caso es el taladro, ATLAS COPCO indica que el tiempo promedio para realizar un orificio es de 3,5 segundos, y la capacidad de los dos tanques de almacenamiento es de 1000 litros.

Reemplazando den la ecuación tenemos:

$$v = \frac{Qxt}{\Delta pC}$$

$$v = \frac{31,64 \times 3,5}{0,24}$$

$$v = 461,42 \text{ l}$$

El margen de caída de presión por consumo está dentro de lo admisible es decir los tanques de almacenamiento otorgan una capacidad adecuada para el trabajo diario del taller.

CAPÍTULO IV

4. MANTENIMIENTO DEL SISTEMA.

Los sistemas de aire comprimido semejante a cualquier otro equipo industrial, demandan rutinas frecuentes de mantenimiento, que permitan manipular estos circuitos a su máxima eficiencia, minimizando a su vez los instantes fuera de servicio. Bajas etapas de compresión, fugas de aire en los tramos de tubería y diferencias de presión en el sistema, corresponden a mantenimientos incorrectos del sistema de aire comprimido. Todo esto puede conllevar a altas temperaturas de trabajo, control insuficiente de la humedad y contaminación de equipos, herramientas y medio ambiente.

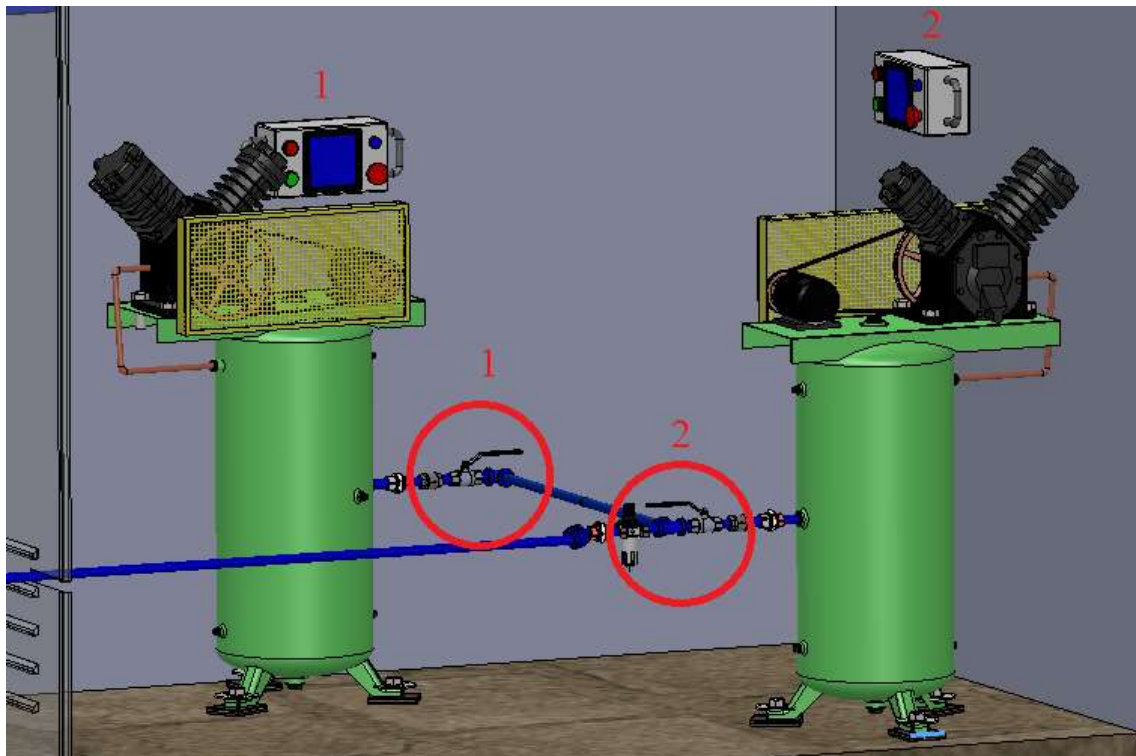
4.1 Secciones del sistema para el mantenimiento.

Antes de puntualizar los ítems de mantenimiento se considera adecuado recalcar que la red está dotada de elementos que agilitan los mantenimientos y reparaciones que se realizarán en ella, sin detener la producción y trabajos que se realizan diariamente en el taller.

Al realizar un mantenimiento, reparación o inspección en la sala de compresores, línea principal, y líneas secundarias en horas laborables deberá bloquear dichas secciones de la siguiente manera.

4.1.1 Desconexión de Compresores. Para operar sobre los compresores primero se debe vaciar el sistema en su totalidad, cortar el flujo de corriente eléctrica y separar su conexión de la línea principal. Figura 37.

Figura 37. Elementos de separación para mantenimiento del equipo compresor



Fuente: Autor

Compresor 1:

- Dirigirse a Caja de Fusibles 1 y abrir el circuito eléctrico pulsando el breaker a “OFF”
- Girar la palanca de la válvula esférica 1 de tal manera que este perpendicular a la tubería de la línea principal.
- Liberar la presión del compresor .

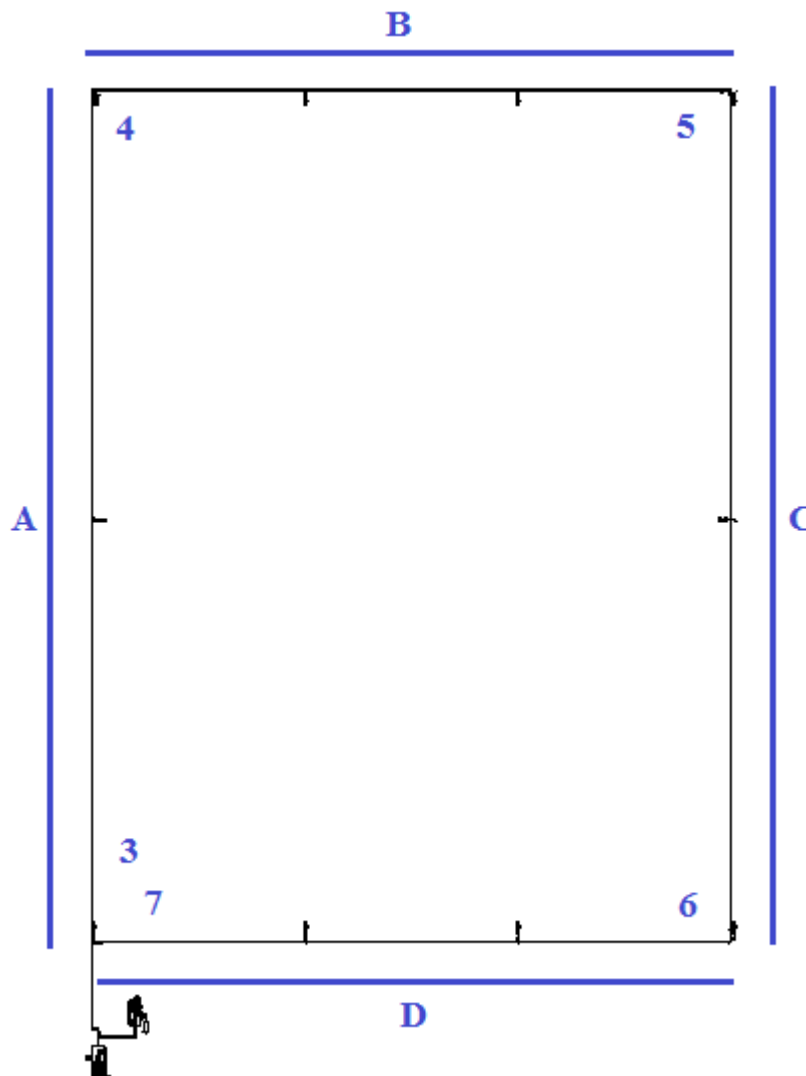
Compresor 2:

- Dirigirse a Caja de Fusibles 2 y abrir el circuito eléctrico pulsando el breaker a “OFF”

- Girar la palanca de la válvula esférica 2 de tal manera que este perpendicular a la tubería de la línea principal.
- Liberar la presión del compresor 2.

4.1.2 *Desconexión de Anillo de la Tubería principal*: antes de manipular alguna sección del anillo principal se separa cada tramo de tubería para los trabajos correspondientes como se muestra en la figura 38.

Figura 38. Separación del anillo principal en tramos A-B-C-D



Fuente: Autor

Tramo A:

- Girar en sentido de las manecillas del reloj, las palancas de las llaves esféricas 3-4 de tal manera que permanezcan perpendiculares a la tubería del anillo principal.

Tramo B:

- Girar en sentido de las manecillas del reloj, las palancas de las llaves esféricas 4-5 de tal manera que permanezcan perpendiculares a la tubería del anillo principal.

Tramo C:

- Girar en sentido de las manecillas del reloj, las palancas de las llaves esféricas 5-6 de tal manera que permanezcan perpendiculares a la tubería del anillo principal.

-

Tramo D:

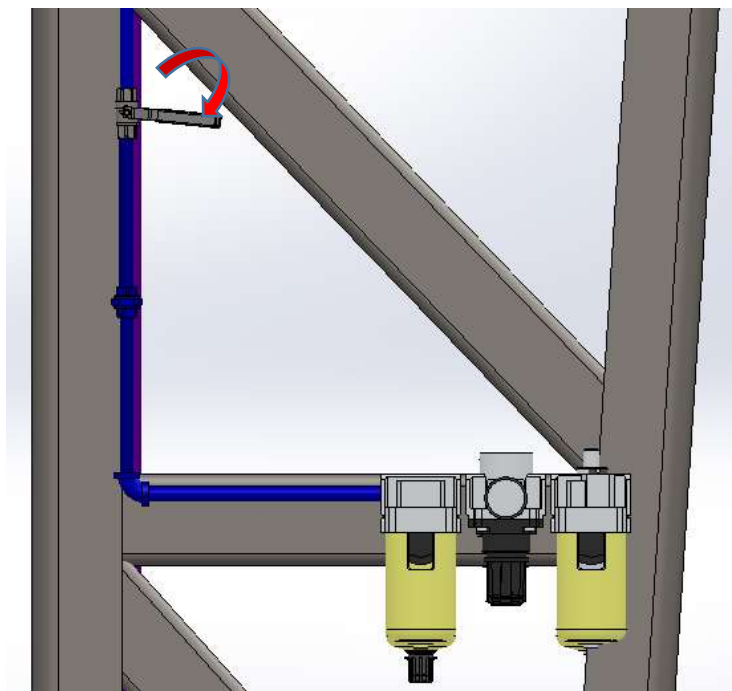
- Girar en sentido de las manecillas del reloj, las palancas de las llaves esféricas 6-7 de tal manera que permanezcan perpendiculares a la tubería del anillo principal.

Unidades FR: antes de manipular estas unidades para su mantenimiento de las debe separar de la red de aire.

4.1.3 Desconexión FR 1-10

- Girar en sentido de las manecillas del reloj, la palanca de la válvula esférica anterior a la unidad FR de tal manera que permanezcan perpendiculares a la tubería vertical. Figura 39.

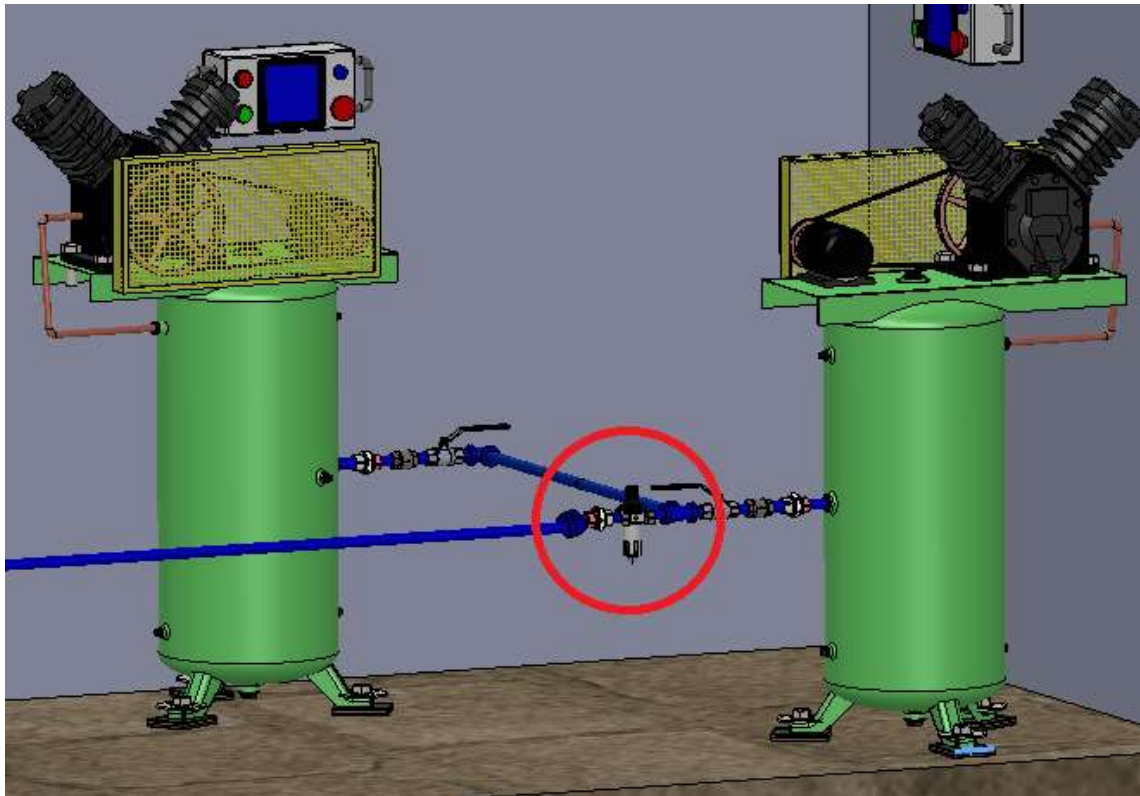
Figura 39. Aislamiento de flujo de la unidad FR



Fuente: Autor

Secador principal de la línea: lastimosamente para dar mantenimiento a este elemento es necesario detener todo el trabajo de la red de aire manipulando las válvulas 1 y 2, ya que este se encuentra directamente entre el equipo compresor y la tubería principal. Se recomienda realizarlo en días de poco trabajo o fines de semana. Figura 40.

Figura 40. Secador principal del sistema neumático



Fuente: Autor

4.2 Guías de mantenimiento

Una vez seleccionada la sección de mantenimiento se puede empezar con el proceso de reparación o inspección deseado.

El esquema de mantenimiento de un sistema de aire comprimido, conlleva a la ejecución de rutinas de ajuste, reemplazo, lubricación y eliminación de condiciones adversas. Adicionalmente, es preciso la localización y reparación de fugas, y la inspección de refrigeración y condensado. Toda instrucción de mantenimiento puede ser programada en etapas, que comprendan la ejecución de cada una de ellas, acorde a las imposiciones y condiciones recomendadas por los fabricantes y el modelo de compresores empleados.

Tabla 18. Mantenimiento recomendado del compresor

Mantenimiento del Compresor	
Diario	<ul style="list-style-type: none"> • Realizar una inspección visual el equipo compresor. • Mantener el nivel del líquido refrigerante entre los niveles alto y medio. • Drenar los filtros de humedad. • Revisar cualquier vibración o ruido extraño. • Revisar presión de encendido y apagado. • Revisar fugas.
Semanal	<ul style="list-style-type: none"> • Revisar la actividad de las válvulas de alivio. • Desempolvar superficies de refrigeración del compresor. • Desempolvar o reemplazar el filtro de aire del tanque.
Mensual	<ul style="list-style-type: none"> • Inspeccionar la tensión de la correa de transmisión. • Revisar el estado del lubricante.
Semestral	<ul style="list-style-type: none"> • Examinar fugas en válvulas del compresor. • Revisar la presión del lubricante
Anual	<ul style="list-style-type: none"> • Revisar los contactos de arranque del motor eléctrico.

Fuente: Autor

Tabla 19. Mantenimiento recomendado para la red de distribución

Mantenimiento de la red de Distribución		
Semanal	Filtros	<ul style="list-style-type: none"> • Purgar el condensado
	Tubería	<ul style="list-style-type: none"> • Revisar fugas
	Válvulas	<ul style="list-style-type: none"> • Revisar correcto funcionamiento de V. check
Mensual	Secador de aire	<ul style="list-style-type: none"> • Limpiar y revisar el condensador.
	Filtros	<ul style="list-style-type: none"> • Revisar cartucho de tamizaje y reemplazarlo de ser necesario
Anual	Tubería	Inspeccionar si existe sedimentación en el interior de las tuberías.
	Regulador de presión	Comprobar el correcto funcionamiento del regulador

Fuente: Autor

Adicional a estas recomendaciones de mantenimiento que se mencionan en las tablas 17 y 18 es necesario en caso de algún desperfecto o duda de las tareas de mantenimiento a realizarse; acudir inmediatamente al manual del fabricante de cada uno de los equipos adquiridos, que puntualizará de con más exactitud cómo y de qué manera deben realizarse estos procedimientos.

CAPITULO V

5. ANÁLISIS DE COSTOS

5.1 Descripción del análisis de costos

En el análisis de costos presente se muestra una descripción detallada de todos los posibles gastos que se realizaran durante la implementación del proyecto del sistema neumático

5.2 Costos directos

Los costos directos hacen referencia a mano de obra, materiales, equipos y maquinaria que se utilizara en la implementación del proyecto.

5.2.1 Costos de compresores, tubería y equipos de purificación.

Tabla 20. Costos de los elementos necesarios para la red neumática

COMPONENTE	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO /UNIDAD	COSTO
Compresor	35,5 SCFM, 175 PSI, postcooler , 500lts	unidad	2	6743,49	13486,98
Secador	80 CFM, 3 °C ,1”	unidad	1	120	120
Unidad FR	40 CFM ½”	unidad	10	135	1350
Válvula check	1”	unidad	2	42,5	85
Válvula esférica	1”	unidad	7	17,5	122,5
Válvula esférica	½”	unidad	10	5,50	55
Codo	HG 1”	unidad	8	2,25	18

Codo	HG ½"	unidad	30	0,35	10,5
Universal	HG 1"	unidad	7	3,5	24,5
Universal	HG ½"	unidad	10	1,5	15
Tee	HG 1"	unidad	13	1,8	23,4
Tubo	HG 1"	unidad	16	32	512
Tubo	HG 1/2"	unidad	10	12,5	125
Bushing	HG 1"- 1/2"	unidad	10	0,50	5
Ventilador	4 m ³	unidad	1	150,00	150,00
Costo total de elementos de la red de aire comprimido					16102,88

Fuente: Autor

5.2.2 Costos de herramientas utilizadas

Tabla 21. Costo de equipos utilizados

Herramienta	Costo/hora	Horas equipo	Costo (USD)
Tarrajá mecánica	3	6	18
Entenalla	1	3	3
Amoladora	2	2	4
Taladro	2	2	4
otros	0,4	2	0,8
Costo total de herramientas utilizadas			29,8

Fuente: Autor

5.2.3 Costos mano de obra

Tabla 22. Costo de mano de obra

Trabajador	Salario costo/hora	Horas hombre	Total (USD)
Plomero	2,5	40	100
Ayudante mecánico	2	40	80
Costo total de mano de obra			180

Fuente: Autor

Tabla 23. Costos Directos

DETALLE	VALOR (USD)
Componente/material	16102,88
Herramientas	29,80
Mano de obra	180
Total de costos directos	16312,68

Fuente: Autor

5.3 Costos indirectos

Tabla 24. Costos Indirectos

Detalle	Cantidad(%CD)	Valor (USD)
Diseño y supervisión	3%	489,38
Imprevistos	5%	815,63
Total de costos indirectos		1305,01

5.4 Costos totales

El total de los costos equivale a la suma de los costos directos más los costos indirectos, sumados estos dos valores se tiene el valor de 17617,69 USD. (Diecisiete mil seiscientos diecisiete dólares con sesenta y nueve centavos)

5.5 Análisis costo-beneficio

5.5.1 El valor presente neto (VPN) Es el método más conocido a la hora de evaluar proyectos de inversión a largo plazo. El Valor presente neto permite determinar si una inversión cumple con el objetivo básico financiero, es decir Maximizar la inversión. El valor presente Neto permite determinar si dicha inversión puede incrementar o reducir el valor. Ese cambio en el valor estimado puede ser positivo, negativo o continuar igual. Si es positivo significara que el valor del servicio tendrá un incremento equivalente al monto del Valor Presente Neto. Si es negativo quiere decir que la Firma reducirá su riqueza en el valor que arroje el VPN. Si el resultado del VPN es cero, la empresa no modificara el monto de su valor.

5.5.2 Costo Actual. El Costo actual del sistema defectuoso hace referencia a los costos que aumentaron mensualmente por mantenimiento suministro eléctrico y adquisición de equipos, todo costo necesario para tratar cubrir las demandas que el sistema actual no puede cubrir. Esta cifra asciende a un total de 6845 dólares americanos.

5.5.3 Costo Proyectado. Es el total de los costos equivale a la suma de los costos directos más los costos indirectos, sumados estos dos valores se tiene el valor de 17617,69 USD

Se planea Amortizar el costo proyectado a tres años

Tabla 25. Amortización del costo proyectado 1er. año

Descripción	Sistema Actual	Sistema Proyectado
Inversión	0	17617,69
Gasto por mantenimiento 1er año	6845,00	0
V.P.N.	6845,00	17617,69

Fuente: Autor

Beneficio: $6845 - 17617,69 = -10772,69$ USD

Tabla 26. Amortización del costo proyectado 2do. año

Descripción	Sistema Actual	Sistema Proyectado
Inversión	0	17617,69
Gasto por mantenimiento 1er. año	6845,00	0
Gasto por mantenimiento 2do. año	6845,00	1000,00
V.P.N.	13690,00	18617,69

Fuente: Autor

Beneficio: $13690 - 18617,69 = -4927,69$ USD

Tabla 27. Amortización del costo proyectado 3er. año

Descripción	Sistema Actual	Sistema Proyectado
Inversión	0	10772,69
Gasto por mantenimiento 1er. año	6845,00	0
Gasto por mantenimiento 2do. año	6845,00	1000,00
Gasto por mantenimiento 3er. año	6845,00	1000,00
V.P.N.	20535,00	19617,69

Fuente: Autor

Beneficio: $20535 - 19617,69 = 917,31$ USD

5.5.4 *Tasa interna de retorno (TIR)*. Es una herramienta de toma de decisiones de inversión utilizada para comparar la factibilidad de diferentes opciones de inversión. Generalmente, la opción de inversión con la TIR más alta es la preferida.

Tabla 28. Costo de inversión y TIR

Descripción	Costos de inversión y TIR
Inversión	19617,69 USD
Ahorro	20535,00 USD
Tasa Interna de Retorno	4,68 %

Fuente: Autor

La implementación de este proyecto no presentaría beneficios en el primer y segundo año sin embargo a partir del tercer año presenta un beneficio de 917,31 USD con un TIR de 4,68. Este valor aumentara año tras año por lo tanto se concluye que la implementación de este proyecto es rentable para la empresa.

CAPÍTULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- La propuesta de rediseño entregada en este trabajo de titulación lleva consigo acotaciones de seguridad, calidad de aire, ventilación del sistema, mantenimiento de la red, capacidad suficiente para una ampliación tanto en presión como en caudal y distribución adecuada del suministro. Cualidades que la hacen óptima para su implementación en esta empresa carrocera.
- MANSER es una empresa que presta servicios de reparación y construcción de carrocerías siendo una empresa de mediano tamaño y con un consumo intermitente de aire comprimido. Sus demandas de presión, caudal y distribución de este suministro se las determino en base a los equipos, herramientas y puestos de trabajo que existen dentro de la infraestructura de esta empresa.
- El esquema planteado como propuesta brinda alternativas de mantenimiento sin detener la producción, no obstaculiza la circulación de operarios y autobuses e identifica el fluido con el que vamos a trabajar.
- Los elementos mínimos del sistema de aire comprimido se los ha determinado según la calidad del aire necesitan los equipos, estos se localizan al principio del equipo compresor y al final en cada uno de los puestos de trabajo.

6.2 Recomendaciones

- Debido al poco espacio disponible en la sala de compresores, se recomienda adquirir los compresores con tanque acumulador en posición vertical, esta elección ayudara a la circulación del operador en caso de mantenimiento.
- Antes de realizar un diseño en una red neumática es aconsejable que lo realice alguien quien tenga conocimientos previos de neumática.
- Se recomienda archivar todos los manuales del equipo junto a los planos de esta propuesta tecnológica para agilizar los procesos de mantenimiento.

- Antes de utilizar una herramienta neumática leer detenidamente su manual, y aplicar la presión sugerida por el fabricante mediante el regulador de presión de cada estación de trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

ATLAS COPCO. *Guía de bolsillo para la distribución de aire comprimido.* Madrid-España: Atlas Copco, 2007, pp. 6.

ATLAS COPCO. *Manual de Aire Comprimido.* 7ª ed. Bélgica: Boomsesteenweg, 2011, pp. 19-70-117-120.

CEFESA. *Ilustraciones* . [En línea] [Consulta: 30 de 9 de 2016]. Disponible en: <http://www.cefesa.com/products/CODO-H.G.-1%7B47%7D2%22-90%252d012.html#.WD7UVLLhDIV>.

CENTRALAIR. *Manual del aire comprimido.* Madrid-España: 1995, pp. 23-26

FESTO. *Aire Comprimido fuente de Energía Preparacion y Distribución* . Esslingen: Ruiter Strabe, 2002, pp. 35-43.

FESTO. *Procesos seguros gracias a una perfecta preparación del aire comprimido.* Madrid-España: Festo AG & Co, 2015, pp. 7-10.

INEN 1323. *Vehículos Automotores. Carrocerías de Buses. Requisitos. Primera Revisión* . Quito-Ecuador, 2009, pp. 7-8.

INEN 2470. *Tubos de acero al carbono con costura, negros y galvanizados para conducción de fluidos. Requisitos.* Quito-Ecuador, 2008, pp. 2.

INEN 2664. *Fabricantes de Carrocerías Metálicas para Vehículos de Transporte de Pasajeros.Requisitos.* Quito-Ecuador, 2013. pp. 4.

INEN 440. *Colores de Identificación de Tuberías.Primer Revisión.* Quito-Ecuador, 1984, pp. 2.

INSTITUTO DE MECÁNICA DE LOS FLUIDOS E INGENIERÍA AMBIENTAL.

Compresores. *Máquinas para Fluidos*. IMFIA, 2010, pp. 20-35.

KAESER. *Técnica de Aire Comprimido*. Querétaro: Salvo, 2010, pp. 7-20.

MEGAKONS. Tee Galvanizada. [En línea][Consulta: 3 de 9 de 2016.] Disponible en:
http://megakons.com.ec/catalog/popup_image.php?pID=228.

PARKER DOMINIC HUNTER. *Introducción a las normas ISO de calidad del aire*. Gateshead : Parker, 2011, pp. 4-15.

ROYO CARNICER Enrique. *Aire Comprimido*. España : Paraninfo S.A., 1994, pp. 10-290.

SMC. *Neumática*. 2ª ed Madrid-España: Paraninfo-Thomsom, 2003, pp. 56-63.

SOLÉ CREUS Antonio. *Neumática e Hidráulica*. Madrid-España: Marcombo, S.A. 2007, pp. 73-82

CENGEL Yunus & CIMBALA John. *Mecánica de Fluidos. Fundamentos y Aplicaciones*. Mexico: McGraw Hill, 2006, pp. 200.